

UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**RISCO DE TSUNAMI DA CIDADE DE LAGOS:  
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E  
MODELAÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO NUMA ABORDAGEM SIG**

**André Daniel Silva Trindade**

PROJECTO

MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - TECNOLOGIAS E  
APLICAÇÕES

**2014**



UNIVERSIDADE DE LISBOA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOGRÁFICA, GEOFÍSICA E ENERGIA



**RISCO DE TSUNAMI DA CIDADE DE LAGOS:  
AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E  
MODELAÇÃO DE ROTAS DE EVACUAÇÃO NUMA ABORDAGEM SIG**

**André Daniel Silva Trindade**

**PROJECTO**

**MESTRADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA - TECNOLOGIAS E  
APLICAÇÕES**

**Dissertação Orientada por Professora Doutora Cristina Catita**

**2014**





“O mundo é formado não apenas pelo que já existe, mas pelo que pode efectivamente existir.”

Milton Santos, Geógrafo

## RESUMO

As cidades costeiras da região do Algarve, nomeadamente a cidade de Lagos, historicamente, tem sido afectadas por desastres naturais, inclusivamente sismos e tsunamis. As consequências de uma catástrofe causadas por *tsunami*, apesar de pouco frequente, podem ser devastadoras para um território. Numa situação provocada por um fenómeno desta natureza, todo o sistema urbano (social, económico e ambiental) pode ser perturbado e a recuperação é tanto menos prolongada quanto melhor esteja preparado. Torna-se portanto imperativo o estudo das vulnerabilidades, bem como das formas de mitigar o seu impacto em eventos futuros melhorando a resiliência, capacidade de resposta e de adaptação das populações.

Neste trabalho parte-se do aspecto físico do fenómeno, avaliando a vulnerabilidade das estruturas expostas e da população, para diferentes cenários credíveis de inundação por *tsunami*, passando posteriormente para a modelação de rotas de evacuação em circunstâncias de emergência distintas. As metodologias aplicadas consistiram na integração de dados de diversas naturezas de diferentes fontes, com recurso a ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tirando partido das suas potencialidades de análise e de criação de conteúdos cartográficos.

Os resultados obtidos, materializados sob a forma de mapas, tentam fornecer uma visão e/ou compreensão da vulnerabilidade a tsunami, potenciais danos e subsequentes perdas, assim como uma proposta de localização de abrigos e de rotas de evacuação para o caso de estudo da cidade de Lagos. Pretende-se com este trabalho, elaborado no âmbito do projecto VULRESADA, dar um contributo científico às autoridades locais responsáveis pelo ordenamento do território e planeamento de emergência no contexto da prevenção e divulgação do risco de *tsunami*.

**Palavras-chave:** *Tsunamis*, vulnerabilidade, resiliência, abrigos e rotas de evacuação, Sistemas de Informação Geográfica, planeamento de emergência.

## ABSTRACT

The Algarve coastal cities, namely the city of Lagos, has historically been affected by devastating natural hazards including earthquakes and tsunamis. The consequences of a catastrophe caused by the tsunami, although uncommon, can be devastating to a territory. In such a situation caused by a phenomenon of this nature, the whole urban system (social, economic and environmental) can be disturbed and recovery is much less prolonged as better this system is prepared. It is thus imperative to the study of vulnerabilities, as well as ways to mitigate their impact on future events improving resilience, responsiveness and adaptation of populations. It becomes imperative to study the vulnerability, as well as finding ways to increase the level of resilience and adaptive capacity of populations.

This work starts from the physical aspect of the phenomenon, assessing the vulnerability of structures and population exposed to different credible tsunami flood scenarios, passing later to the modeling of evacuation routes in different emergency situation. The methodologies used consisted in integrating data of different natures from several sources, using Geographic Information Systems (GIS) tools, taking advantage of its potential for analysis and for creating cartographic contents.

The results achieved, materialized in the form of maps, try to provide a vision and / or understanding of vulnerability to tsunami, potential damage and subsequent losses, as well as a proposal for the location of shelters and evacuation routes in the Lagos case study. With this work, developed within the project VULRESADA, is intended to give a useful scientific contribution to the decision makers and local authorities responsible for spatial planning and emergency planning in the prevention and communication context of the tsunami risk.

**Key-words:** Tsunami vulnerability, resilience, shelters and evacuation routes, Geographic Information Systems, emergency planning.

## **AGRADECIMENTOS**

Às Professoras Cristina Catita e Paula Teves Costa, pela orientação, apoio e conhecimento transmitido. Ao Centro Europeu de Riscos Urbanos (CERU) pela possibilidade de integrar este projecto e de participar no seminário realizado em Lagos e na assembleia Luso-Espanhola de Geodesia e Geofísica realizada em Évora. À Comunidade Intermunicipal do Algarve (AMAL) e à Câmara Municipal de Lagos pelos dados cartográficos e ao IDL-UL pelos modelos de inundação disponibilizados, indispensáveis para a realização deste trabalho.

Aos meus pais Arlindo e Fátima, que sempre consideraram a minha formação como a sua prioridade, pela ajuda incondicional. À Sara, a minha companheira, pela paciência, compreensão e motivação. A todos os meus amigos e a toda a minha família. Aos meus colegas do mestrado em Sistemas de Informação Geográfica de Engenharia Geográfica da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa por terem partilhado experiência e conhecimento, de diversas áreas do saber, durante estes dois anos de muito estudo e trabalho. À Inês e ao Miguel, que a partir de Paris, ajudaram nas traduções do Francês.

# ÍNDICE

RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	x
ÍNDICE DE TABELAS .....	xiii
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Apresentação do problema e Enquadramento.....	1
1.2 Objectivos .....	5
1.3 Motivação .....	5
1.4 Contribuição científica.....	8
1.5 Estrutura do Trabalho.....	9
<b>CAPÍTULO II – ESTADO DE ARTE E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>10</b>
2.1 Vulnerabilidade .....	10
2.1.1 Vulnerabilidade estrutural .....	11
2.1.2 Vulnerabilidade Social .....	15
2.2 Da Resiliência ao Planeamento da Evacuação .....	16
2.3 Tecnologias SIG e aplicações de implementação.....	18
<b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA E PROCESSAMENTO .....</b>	<b>23</b>
3.1 Área de estudo .....	23
3.1.1 Introdução Histórica .....	23
3.1.2 Enquadramento Geográfico.....	24
3.2 Conceptualização do modelo de vulnerabilidade e de evacuação .....	31
3.3 Vulnerabilidade Estrutural do Edificado .....	34
3.3.1 Classificação Tipológica do Edificado .....	34
3.3.2 Índice de vulnerabilidade do Edificado.....	36
3.3.3 Modelos de inundação Tsunami .....	39
3.4 Vulnerabilidade da Popula�o .....	43
3.5 Índice de vulnerabilidade a tsunami do edificado .....	45
3.6 Rotas de evacua�o .....	51
<b>CAPÍTULO IV – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES .....</b>	<b>61</b>
4.1 Análise das vulnerabilidades, potenciais perdas e evacua�o.....	62
4.2 Trabalhos Futuros.....	65
4.3 Considera�es Finais .....	65
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>67</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>72</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Potenciais zonas tsunamigénicas Sudoeste Ibérica e falhas típicas.....	2
Figura 2 – As esferas da vulnerabilidade.....	10
Figura 3 – Aplicação web de zonas de evacuação tsunami para a cidade de Porirua, Norte da Nova Zelândia 20	
Figura 4 - Wellington City Tsunami Evacuation Zones, Nova Zelândia .....	20
Figura 5 - Tsunami Inundation Emergency Planing for the San Francisco Bay Region .....	21
Figura 6 – À esquerda <i>screenshot</i> da Honolulu Tsunami Evacuation Zones app (versão <i>tablet</i> ). À direita <i>screenshot</i> TsunamiEvac-NW app (versão <i>smartphone</i> ) .....	21
Figura 7 - Mapa de enquadramento geográfico do Concelho de Lagos.....	24
Figura 8 - Enquadramento litológico da área de estudo.....	25
Figura 9 – Enquadramento pedológico da área de estudo.....	26
Figura 10 - Mapa de equadramento da área de estudo.....	28
Figura 11 – Ruas típicas do Centro histórico de Lagos.....	30
Figura 12 - Estrutura da base de dados geográfica na extensão ArcCatalog.....	31
Figura 13 - Diagrama de Classes e transformação (Modelo de Dados OMT-G da Base de dados geográficos).....	33
Figura 14 - Subsecções estatísticas homogéneas e heterogéneas.....	34
Figura 15 - Mapas do edificado classificado de acordo o material de construção (Esquerda) e época de construção (direita).....	35
Figura 16 - Mapa da classificação tipológica do edificado de acordo com o número de pisos.....	35
Figura 17 – Mapa da classificação tipológica do edificado par material-idade.....	36
Figura 18 – Mapa de classificação da vulnerabilidade estrutural do edificado .....	39
Figura 19 – Padrões de dispersão de ondas de tsunami computados considerando as fontes tsunamigénicas HSMP, PBF e CWF .....	40
Figura 20 - Área potencialmente inundável em Lagos (superfície gerada a partir do run-in máximo dos 3 cenários de inundação) .....	41
Figura 21 – Grelhas de inundação (value - altura da onda em metros) dos cenários HSMP2, PBF2 e CWF4 para o concelho de Lagos.....	41
Figura 22 – Modelo cartográfico do processo de integração dos valores de inundação na cartografia vectorial .....	42
Figura 23 – Cartas de inundação por subsecção estatística para os cenários HSMP2, PBF2 e CWF4 .....	43
Figura 24 – Mapa de Índice de Vulnerabilidade da População (IVP) .....	45

Figura 25 – Modelo Cartográfico da extracção dos edifícios expostos para cada cenário de inundação .....	47
Figura 26 - Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação CWF.....	48
Figura 27 - Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação PBF.....	49
Figura 28 - Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação HSMP.....	50
Figura 29 – Rede de Estradas, centro histórico de Lagos.....	51
Figura 30 – Exemplo de localização de barreiras cenário HSMP .....	53
Figura 31 – Áreas críticas e Áreas seguras .....	53
Figura 32 – Localização dos Abrigos horizontais e dos pontos críticos .....	54
Figura 33 - Janela de Opções do ArcCasper.....	55
Figura 34 - Exemplo de tabela de atributos de rotas de evacuação.....	56
Figura 35 - Carta de Rotas de evacuação para o cenário diurno em época alta e de inundação HSMP.....	56
Figura 36 - Tsunami Travel Time (TTT) mínimo para a costa Atlântica de Portugal e Marrocos.....	57
Figura 37 – Subsecções estatísticas seleccionadas para identificação de edifícios candidatos a abrigos verticais .....	58
Figura 38 – Edifícios candidatos a abrigo vertical nas subsecções 1 e 2.....	59
Figura 39 - Edifícios candidatos a abrigo vertical nas subsecções 3 e 4 .....	59
Figura 40 – Estruturas de Abrigo Vertical – Mie e Shirahma, Japão.....	60
Figura 41 - Carta de abrigos e rotas de evacuação inviáveis.....	60
Figura 42 – Carta de abrigos para tsunami .....	61
Figura 43 - Subsecções estatísticas da cidade de Lagos com IVP superior a 50%, passíveis à ocorrência de perdas humanas (feridos e mortos) em caso de tsunami.....	63





## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Correlação entre classes de vulnerabilidade e tipologia segundo EMS-98.....	12
Tabela 2 – Classificação da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional de Lisboa.....	13
Tabela 3 – Parametros responsáveis pelos controlo do BTV e correspondente factor de peso (Fw).....	13
Tabela 4 – Correlação entre classes de vulnerabilidade e tipologia segundo EMS-98.....	37
Tabela 5 – Limiares numéricos do índice de vulnerabilidade de cada classe EMS-98.....	37
Tabela 6 – Factor de modificação de comportamento (agravamento/desagravamento) para classes de número de pisos.....	38
Tabela 7 – Valores médios dos índices de vulnerabilidade para as tipologias de Alvenaria e Betão.....	38
Tabela 8 – Valores para o Índice de vulnerabilidade para diferentes classes de vulnerabilidade.....	39
Tabela 9 – Parâmetros de falha dos cenários tsunamigénicos.....	40
Tabela 10 - Tabela comparativa do RMS dos interpoladores testados.....	42
Tabela 11 – Factores de classificação e de ponderação considerados na estimação do IVP.....	44
Tabela 12 – Factor de classificação da altura média da onda para o três cenários de inundação.....	46
Tabela 13 – Designação e classificação dos graus de dano.....	46
Tabela 14 – Percentagem de edifícios de cada classe de dano por cenário de inundação.....	47
Tabela 15 – População afectada - Número de habitantes (PR) por categoria de dano esperado nos três cenários de inundação.....	63
Tabela 16 – Número de evacuados a ser direccionados para abrigos verticais, por cenário de evacuação.....	64

# CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do problema e Enquadramento

O conhecimento actual das estruturas tectónicas e a análise da informação recolhida em textos históricos que documentam os efeitos de sismos e de tsunamis sobre a costa portuguesa, permitem à comunidade científica prever cenários tsunamigénicos na faixa costeira de Portugal continental, não excluindo a hipótese de virem a ser ultrapassadas magnitudes registadas nos eventos do passado.

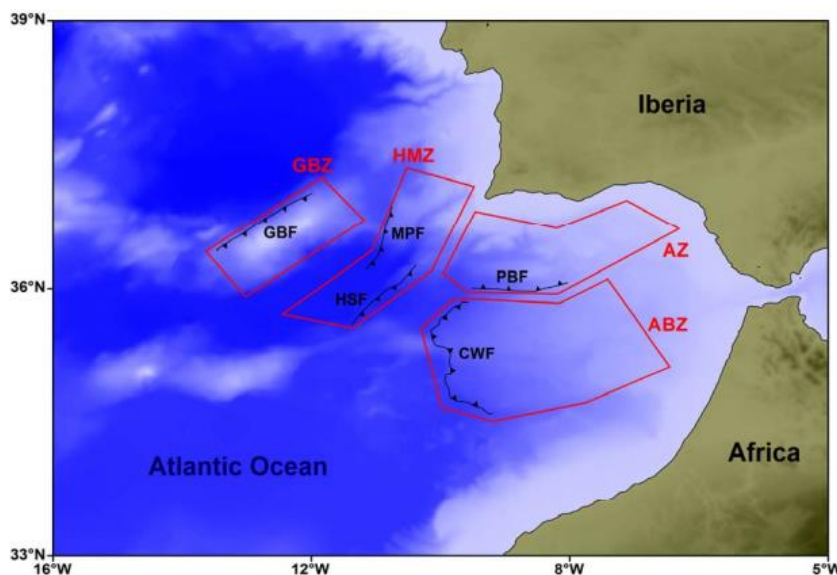
Um tsunami é o deslocamento de um grande volume de água no oceano, numa sequência de ondas de longo período e grande energia, que na sua propagação podem percorrer milhares de quilómetros no oceano até à costa. Podem ser gerados por sismos de grande magnitude, erupções vulcânicas, deslizamentos de terras marinhos ou costeiros, detonações subaquáticas, etc, (Baptista et al., 2011).

O tsunami é um fenómeno geofísico complexo de grande potencial destruidor mas as suas consequências não são determinadas apenas pela sua severidade. A extensão dos prejuízos e o número de vítimas dependem de várias circunstâncias como a época do ano, a hora do dia, o estado atmosférico, a densidade populacional, experiência, nível de instrução, processos materiais e fundações das construções, trânsito, definição de políticas adequadas de gestão de risco, só para enumerar parte. A dimensão do desastre, é portanto, resultante da conexão entre todas estas componentes.

O território de Portugal continental revela uma elevada susceptibilidade à ocorrência de sismos e tsunamis, tanto pela sua localização junto ao cruzamento de uma margem continental de orientação norte-sul, relacionada com a abertura do Atlântico Norte, como pela sua proximidade e posição relativamente à Zona de Fractura Açores-Gibraltar, (limite entre as placas litosféricas Euroasiática e Africana). Esta região foi designada por AT2- “Atlantic” no catálogo *Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts* (GITEC). A região Atlântica (AT2) estende-se dos Açores ao estreito de Gibraltar, (Baptista, 1998).

Nesta região definiram-se zonas de geração de grandes sismos e tsunamis (figura 1) que afectam a faixa costeira portuguesa. A secção central da Zona de Fractura dos Açores-Gibraltar constitui a zona de fractura Falha da Gloria na qual já foram relatados dois sismos tsunamigénicos (1939, 25 de Novembro de 1941 e 26 de Maio de 1975) de amplitude máxima em Lagos. O Banco de Gorringe é a região leste da ZGAF situado entre a planície Abissal do Tejo a Norte e a planície Abissal de Ferradura a Sul. Foi encontrada na documentação histórica, referências ao tsunami do ano de 60 a.c. gerado por um sismo com epicentro provável nesta zona, outro no ano de 382 d.c. que gerou um tsunami observado ao largo do cabo de S<sup>o</sup> Vicente, um tsunami a 24 de Agosto de 1356 e por fim um sismo de amplitude reduzida que também gerou o tsunami de 28 de Fevereiro de 1969. A Margem Sudoeste Ibérica (*South Algarve Zone*) localiza-se ao longo da costa Sul do Algarve estendendo-se para leste até Gibraltar. A Falha do Banco de Portimão está incluída nesta zona que é sismicidade frequente. A Zona do Prisma Acreccionário de Gibraltar-Alboran (*Aboran wedge Slab Zone*) inclui a falha do Golfo de Cadiz, que actualmente aparenta estar inactiva (Rosas et al., 2010). A Zona composta pelas falhas de Ferradura e Marquês de Pombal (*Horseshoe/Marques de Pombal Zone*) que se situa entre a zona do Banco de Gorringe e as zonas Sul algarvia e o Prisma acreccionário de Gibraltar-Alboran, é considerada como a fonte mais provável do evento de 1755 segundo Ribeiro (2006), devido à sua orientação sub-paralela, assim como a continuidade quase geométrica entre as duas falhas que

facilita a transferência de tensão / deslocamento entre elas. A zona SWIT (*SouthWest Iberian Transpressive Domain*) é composta por um conjunto de falhas de desligamento, que se estendem entre a falha da Glória e NW de Marrocos. A SWIT engloba como sub-regiões as zonas do Banco de Gorringe, Ferradura/Marques, Sul do Algarve e Alboran-Gibraltar.



**Figura 1 – Potenciais zonas tsunamigénicas Sudoeste Ibérica e falhas típicas. GBZ: Zona do Banco de Gorringe; HMZ: Zona de Ferradura/Marquês de Pombal; AZ: Zona Sul do Algarve; ABZ: Prisma acreccionário de Gibraltar-Alboran; GBF: Falha do Banco de Gorringe; MPF: Falha de Marques de Pombal; HSF: Falha de Ferradura; PBF: Falha do Banco de Portimão; e a CWF: Falha do Golfo de Cadiz. Fonte: Omira, *et al.*, (2010)**

O problema da localização de Portugal na proximidade de fontes sismogénicas e tsunamigénicas vai entroncar-se com outro problema que consiste na forte urbanização da faixa costeira do país. A distribuição espacial das cidades em Portugal evidencia uma acentuada concentração destas na faixa litoral oeste, especialmente entre Setúbal e Viana do Castelo e no litoral meridional algarvio.

O sistema urbano português é assim caracterizado por uma intensa litoralização, destacando-se três áreas muito dinâmicas: Grande Lisboa, Grande Porto e o litoral do Algarve. Em 2001 foi definida pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) e pela Direcção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano (DGOTDU) uma tipologia das Áreas Urbanas nacionais. Dentro dessa tipologia foram consideradas as Áreas Predominantemente Urbanas (APU) sendo as Áreas Metropolitanas de Lisboa e do Porto e o Algarve as que registaram os valores mais elevados de População Predominantemente Urbana. Ou seja, foram as áreas do litoral que emergiram como pólos de atracção demográfica e económica.

A atractividade global da cidade resulta da sua elevada capacidade de emprego nos sectores secundário e terciário e da existência de equipamentos sociais e infra-estruturas urbanas como hospitais, estabelecimentos de ensino, cultura e recreio, equipamentos desportivos, serviços administrativos, distribuição domiciliária de água e energia, redes de saneamento básico, redes de transportes e telecomunicações. A organização da cidade é complexa.

O interior da cidade não é homogéneo, apresenta diferenças tanto do ponto de vista morfológico como do ponto de vista funcional. A morfologia da cidade diz respeito a um tecido urbano formado por edifícios, monumentos, jardins, praças, ruas (rede viária). O sitio compreende o conjunto de características físicas (topográficas e geológicas) do local onde se implantam as construções. Os tipos de plantas ou malha urbana

(irregular, ortogonal, radioconcêntrica) relacionam-se directamente com a área de origem, com as razões que levaram à fundação da cidade e ainda com a evolução que o aglomeramento sofreu ao longo do tempo. As diferenças morfológicas reflectem as épocas históricas em que cada cidade surge e em que contexto se desenrola toda a sua evolução. O traçado das vias de comunicação, a dimensão, o aspecto e a disposição dos edifícios e a densidade de construção variam muito de zona para zona dentro de cada cidade. O tipo de planta reflecte dois aspectos importante: o sítio ou seja o local exacto onde a cidade se implantou; os valores e necessidades em cada época histórica.

O aspecto funcional está ligado ao uso do solo e às actividades que aí se desenvolvem isto é, o espaço urbano apresenta diferenciação funcional: as funções relacionadas com diferentes actividades e a função residencial. Vários estudos têm demonstrado que existem padrões de localização de actividades e das habitações podendo ser identificadas regularidades na sua distribuição constituindo áreas quase homogéneas, que se diferenciam umas das outras de acordo com a sua função predominante – Áreas funcionais.

As cidades costeiras de Portugal surgem como áreas de grande vulnerabilidade a efeitos de tsunamis. Impõe-se a necessidade de identificar as circunstâncias que determinam a vulnerabilidade dos lugares e das pessoas, tornando-se indispensável aprender a lidar e a gerir as vulnerabilidades de modo a assegurar a operacionalidade numa situação de emergência.

Ao analisar a diferenciação funcional numa cidade, independentemente da sua dimensão a área central individualiza-se sempre das restantes. É a área central que apresenta maior dinamismo pela grande concentração de actividades terciárias. É a zona mais acessível da cidade ou seja a zona onde se pode chegar com maior facilidade, quer das restantes áreas da cidade que do seu exterior. Esta área funcional vulgarmente conhecida por Centro ou Baixa correspondia primitivamente ao sítio. Posteriormente, o sítio original perdeu a importância como centro histórico. Nas cidades onde o passado histórico deixou vestígios importantes o centro originário de ruas estreitas, de velhos edifícios e monumentos, tornou-se com frequência numa área de interesse histórico ou turístico.

Nos quarteirões contíguos, desenvolve-se nova área central mais moderna com ruas largas e edifícios altos. Uma das suas características mais significativas é o zonamento vertical (diferenciação funcional em altura). Sob o ponto de vista demográfico o centro caracteriza-se pela concentração da população flutuante. O dinamismo do período diurno em que afluí grande quantidade de pessoas (trabalhadores, clientes, visitantes) contrasta com a desertificação nocturna interrompida nos locais onde se situam os centros de diversão nocturna.

As áreas residenciais ocupam a maior superfície do espaço urbano. No centro a função residencial decresce, dando lugar a actividades terciárias. Nas cidades de origens mais remotas o parque habitacional é geralmente ocupado por uma população idosa e de fracos recursos (como é o caso de Lagos) e imigrantes. Os edifícios acusam elevado grau de degradação.

Afastados do centro encontram-se os bairros de habitação social, constituídos por extensos blocos monótonos de edifícios idênticos onde a construção é de baixa qualidade e que se traduz numa rápida degradação interna e externa. Alojamos pessoas de baixos recursos, tal como os chamados bairros de lata localizados nas periferias e nos subúrbios. Aqui é utilizado na construção material recuperado.

Nas áreas periféricas onde reside a população de rendimentos médios surgem edifícios plurifamiliares, com elevado número de pisos e de andares por piso. A densidade de construção é elevadíssima. As classes de rendimentos médio alto e alto ocupam áreas de elevada acessibilidade, com boa qualidade de construção, arquitectura aprazível, com existência de serviços de equipamentos de apoio, jardins e espaços verdes, sendo a densidade populacional baixa.

A área de estudo – a cidade costeira de Lagos – localiza-se no litoral do Algarve que é uma das zonas mais expostas a tsunamis em Portugal. Esta elevada exposição resulta quer da sua sismicidade, quer da sua concentração demográfica e de ambiente construído. No Algarve o processo de urbanização é relativamente recente e ocorre simultaneamente com a procura de Portugal como destino turístico. O distrito de Faro é aquele que depois do Porto apresenta maior número de cidades, sendo que muitas delas foram elevadas a cidade, em meados da década de 80 do século XX, devido ao dinamismo turístico de todo o litoral algarvio. Porém, algumas cidades como a de Lagos são bastante antigas, mas também o turismo ou os serviços a ele directa ou indirectamente ligados constituíram o principal factor do seu incremento demográfico e da sua expansão.

A cidade de Lagos pode ser considerada uma *Natural Hazard Area* como o demonstram os estudos geotectónicos e a sua historicidade sísmica e tectónica. Esta investigação incide sobre o estudo da sua vulnerabilidade a tsunamis. A vulnerabilidade a tsunamis exprime a capacidade que determinado elemento tem para resistir ou ser afectado pelo evento geofísico, sendo condicionada pela acção do sismo de dada severidade. O conceito de vulnerabilidade não pode ser dissociado de outros três conceitos que estão interligados: susceptibilidade que corresponde à predisposição para ser afectado por determinado perigo; exposição entendida como o número de pessoas ou outros elementos em risco que podem ser afectados por um dado evento (Thywissen, 2006); resiliência ou seja a capacidade de lidar com os danos e de recuperar das suas consequências. A resiliência integra dois aspectos que são a capacidade de resposta, conjunto de estratégias e medidas que actuam sobre o dano, aliviando o impacte, mais a capacidade de manter toda esta estratégia funcional durante o evento até a sua recuperação (adaptação) total. A resiliência é definida como um conjunto de capacidades que podem ser promovidas por meio de intervenções e políticas, que ajudam a construir e melhorar as capacidades de uma comunidade para resposta e recuperação a desastres.

O conceito de gestão de emergência possui um carácter reactivo ou seja de resposta imediata a um evento danoso. A preparação, a mitigação, a resposta e a recuperação podem ser considerados instrumentos de gestão de emergência. Na fase de preparação desenvolvem-se acções e medidas de planeamento ao nível de gestão de emergência como por exemplo exercícios de simulação e o desenvolvimento de sistemas de alerta e de evacuação (Quarantelli, 1988).

A mitigação é a fase de implementação de medidas e acções antes da ocorrência do evento de modo a reduzir a dimensão do desastre (Quarantelli, 1994). Na fase de resposta encetam-se múltiplas acções durante e no período imediato à ocorrência do desastre sendo uma fase claramente associada ao domínio da gestão de emergência (Haddow et al., 2007). As medidas iniciais prendem-se com a emissão de alertas e de evacuação das populações sendo que na fase posterior se iniciam as operações de busca e de salvamento dos feridos e o garantir da ordem nas áreas de desastre. A fase de recuperação compreende as tarefas associadas à reparação e restauro do ambiente construído, designadamente habitações e infra estruturas básicas, esta fase tem importância a longo prazo. De acordo com Cutter et al., (2003) as áreas densamente construídas podem colocar entraves às emergências bem como obstáculos na fase de evacuação e recuperação.

## 1.2 Objectivos

Os principais objectivos do presente trabalho podem ser definidos como:

- Levantamento e tratamento de informação (dados geográficos e estatísticos e bibliografia especializada) e criação de uma base de dados geográfica para a informação referente à área de estudo (cidade de Lagos).
- Selecção de uma área de teste para cada caso de estudo tendo em conta as áreas, indicadas pelos modelos numéricos conhecidos, mais vulneráveis a inundações.
- Classificação dos parâmetros envolvidos no estudo da vulnerabilidade.
- Mapeamento da vulnerabilidade a tsunamis de Lagos.
- Criação de um modelo de evacuação – simulação de rotas de evacuação horizontal – para diversos cenários de inundações que podem ser gerados pelas várias fontes sismogénicas em causa em situações demográficas e temporais distintas.
- Análise das simulações de evacuação e identificação de edifícios capacitados para a função de abrigo vertical.

## 1.3 Motivação

Este trabalho de projecto é realizado como contributo para o projecto VULRESADA promovido no âmbito do acordo europeu para principais riscos (EUR-OPA), com o propósito da gestão nas zonas costeiras para o risco sísmico e de tsunamis, estudando o impacto sócio-económico e a avaliação da vulnerabilidade, resiliência e adaptação das cidades de Cascais e Lagos (Portugal) e de Tanger e M'dieq em Marrocos.

Neste projecto colaboram em parceria o Centro Europeu de Riscos Urbanos (CERU), o Centro Euro-Mediterrâneo para a Avaliação e Prevenção de Risco Sísmico (CEPRIS), as autoridades locais de Protecção Civil e as Câmaras Municipais de cada uma das cidades com o financiamento do Concelho Europeu.

O projecto integra várias áreas de investigação sendo as disciplinas científicas de referência a geofísica, geologia, arquitectura, engenharias, economia, ciências sociais e SIG. Este trabalho integra-se no âmbito dos *Work Packages* - WP 2: Avaliar as vulnerabilidades quatro cidades face aos riscos sísmico e de tsunamis (2012); Planos de Acção para melhorar a adaptação das cidades para os riscos geológicos, sísmicos e de tsunamis (2013).

Com este trabalho pretende-se tratar o impacto de tsunamis na cidade de Lagos a uma escala local com o maior detalhe possível. O número reduzido de estudos a este nível de análise, constitui uma barreira à disponibilidade de informação. A percepção e o conhecimento que as populações possuam acerca do risco da sua cidade a tsunamis será de grande importância para garantir a participação das pessoas na manutenção da operacionalidade dos pontos vitais e a promoção da resiliência tanto das estruturas como das instituições e dos próprios cidadãos.

A ligação entre riscos, vulnerabilidade, ordenamento do território e Protecção civil é estabelecida através dos seguintes instrumentos jurídicos:

1) A Lei de Base da Política de Ordenamento do Território e Urbanismo (LB POTU) aprovado pela Lei nº48/98 de 11 de Agosto e alterada pela Lei nº54/2007 de 31 de Agosto. Determina no artigo 3º, alínea h) como um

dos fins da política de ordenamento do território e urbanismo “ acautelar a protecção civil da população prevenindo os efeitos das catástrofes naturais...”

2) O Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial (RJIGT), aprovado pelo dec-lei nº 380/99 de 10 de Dezembro, assenta o sistema de gestão territorial num quadro de intervenção coordenada a 3 níveis, nacional, regional e municipal.

3) Através da Resolução do Conselho de Ministros nº 109/2007, de 20 de Agosto é aprovada a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável (ENDS) e o respectivo plano de implementação (PIENDS). Este instrumento de orientação estratégica nacional, para o horizonte de 2015 foi concebido como uma arquitectura de integração dos diversos instrumentos de planeamento do Governo.

São sete os objectivos consignados na ENDS 2015. No 3º objectivo – Ambiente e Património Natural inclui-se no ponto ii, iii e iv:

ii - Instalação de uma rede de monitorização sísmica nacional bem como de uma rede de detecção e alerta de tsunamis, ambas inseridas nas Redes Europeias.

iii – Lançamento de programas de investigação destinados ao desenvolvimento de novos conceitos tecnológicos e urbanísticos que permitam pervenir melhor os impactes destrutivos de riscos sísmico e de inundação.

iv – Criação de incentivos à requalificação e reconstrução urbana – edifícios e organização do espaço – zonas urbanas com maior risco sísmico e de inundação com a aplicação de soluções arquitectónicas inovadoras sendo a Área Metropolitana de Lisboa e o Algarve as regiões de acção prioritária.

4) O Programa Nacional da Política do Ordenamento do Território (PNPOT) aprovado pela Lei nº58/2007 de 4 de Setembro. O PNPOT identifica e elege a prevenção dos riscos como um dos quatro vectores do modelo territorial a seguir. Como Medidas Prioritárias para atingir os objectivos específicos foram estabelecidos:

- i) Definir uma estratégia integrada para prevenção e redução dos riscos (2006-2007).
- ii) Definir para os diferentes tipos de risco, naturais ambientais e tecnológicos em sede de Planos Regionais de Ordenamento do Território, de Planos Municipais de Ordenamento do Território e de Planos Especiais de Ordenamento do Território (...) as áreas de perigosidade, os usos compatíveis e medidas de prevenção e mitigação dos riscos identificados.
- iii) Elaborar cartas de risco que identifiquem as zonas de vulnerabilidade significativa, incluindo cartas geológico-geotectónicas das principais áreas urbanas, tendo em vista a tomada de decisões que permitem a minimização dos efeitos resultantes dos factores meteorológicos e de natureza geológica. (2007-2013).
- iv) Criar medidas preventivas para as diversas situações de risco geológico, nomeadamente através de legislação com a sua identificação e localização que estabeleça uma condicionante legal ao uso do solo, a verter nos instrumentos de Gestão Territorial (2007-2013).
- vi) Desenvolver e aperfeiçoar os Planos de Emergência de base territorial em articulação com os instrumentos de planeamento municipal (...).

O PNPOT aponta para a necessidade de criar “mecanismos de informação, educação e sensibilização para os cidadãos saibam adoptar medidas de auto-protecção adequadas”.

5) Os Planos Regionais de Ordenamento do Território (PROT) são instrumentos de carácter programático, instituídos em 1998. Devem articular as políticas do PNPOT com as directrizes relativas a zonas de risco contidas nos planos intermunicipais e municipais. É um exemplo de PROT o Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve – PROT Algarve (CCDR ALG 2007) aprovado no Conselho de Ministros de 24 de Maio de 2007, que inclui orientações em matéria de risco sísmico, e soluções que devem ser realizadas e implementadas nos planos municipais de ordenamento do território a fim de salvaguardar a vida humana, bens e ambiente.

- i) Definição mais detalhada da acção sísmica a considerar no projecto e estabelecimento da segurança estrutural dos parques construídos e a construir; as construções deverão obdecer a critérios de dimensionamento autorizados do RSA (1983) (e mais recentemente o EC8)
- ii) v) Em zonas susceptíveis de efeitos de tsunamis também deverão ser proibidas as construções.

Os Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT) são instrumentos que fixam as regras de ocupação e uso do espaço. Surgiram devido à necessidade de as autarquias locais disporem de um suporte legal e lógico para a sua actuação e para a programação das iniciativas municipais.

Os PMOT compreendem planos que variam segundo a área de intervenção e segundo a escala de intervenção: Planos Directores Municipais (PDM), Planos de Urbanização (PU) e Planos de Pormenor (PP) que se articulam com o PNPOT e os PROT.

Em 2009 o Programa Simplex desenvolve uma metodologia de avaliação do risco e fixa medidas de prevenção e mitigação adequadas.

- ii) “Harmonizar a informação geo-referenciada de base municipal sobre riscos para o efeito de elaboração de Planos Municipais de Emergência e dos PDM e criar as bases para a sua exploração através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no âmbito do planeamento e da gestão de riscos, para apoio à decisão em matérias de protecção civil e de ordenamento do território.
- iii) Definição de orientações técnicas para a construção dos SIG de base municipal para o apoio à decisão na área de levantamento, previsão, monitorização e prevenção dos riscos naturais e tecnológicos, permitindo o planeamento de soluções de emergência”

Na actual legislatura o programa Simplex foi abandonado, abrindo-se caminho para a criação de uma nova versão que ainda não foi concretizada.

A lei nº27/2006 de 3 de Julho estabelece os objectivos da Protecção Civil ( Lei de Base da Protecção Civil) No artigo 26º prevê articulação com os PMOT’s mas a articulação entre a Protecção Civil e o Ordenamento do Território apenas se verifica como medida reactiva. A prevenção não tem passado de preocupação expressa.

Em 2008 surge o “guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal” no qual a cartografia municipal de risco tinha duas aplicações importantes: introduzi-la na revisão dos Planos Directores Municipais; e criar condições de prevenção e gestão de riscos em estreita articulação com os planos municipais de emergência.

Em 2010 foi aprovado pelo Parlamento o diploma (Resolução da Assembleia da República nº 102/2010) que aconselha a elaboração de cartas de risco sísmico que identifiquem as zonas mais vulneráveis, as tipologias do edificado que mais contribuem para esse risco e a sua localização, as quais devem reflectir-se nos planos



de ordenamento municipal. É ainda recomendado o levantamento da vulnerabilidade do edifício público, das infra-estruturas industriais, hospitalares, escolares e outros pontos críticos como património e zonas históricas de risco. A construção nova é igualmente abrangida, assegurando a execução de medidas de redução da vulnerabilidade do ambiente construído.

Tendo em conta este enquadramento jurídico pode afirmar-se que o Estado Português está sensível à temática dos riscos, mas verifica-se uma certa insuficiência na implementação concreta de políticas públicas de ordenamento do território. Isto reflecte-se na conduta omissa do Estado, no que diz respeito fiscalização, proibição ou limitação ao uso do solo que possa contribuir para evitar o aumento da vulnerabilidade já existente adequando as actividades e os locais sob a óptica dos princípios da prevenção e da precaução (Ferreira, 2012).

Com este trabalho pretende-se reforçar essa sensibilidade para com o risco de tsunami, e justifica-se pela necessidade de explorar as metodologias de análise e avaliação que possam auxiliar trabalhos futuros de revisão dos instrumentos de ordenamento do território. Pretende-se também, com a geração de cartas de rotas de evacuação identificar as opções de evacuação em caso de tsunami que podem ser uteis para os órgãos ligados à Protecção Civil na elaboração de planos de emergência.

#### **1.4 Contribuição científica**

A comunidade científica deve proporcionar condições capazes de contribuir para a salvaguarda dos princípios/objectivos consignados no Programa de Política Nacional do Ordenamento do Território (PNPOT). Efectivamente no processo do planeamento do território estão implicadas duas componentes essenciais: a componente política e a componente técnica. A execução técnica do planeamento é da competência de uma equipa interdisciplinar constituída por especialistas de várias áreas, atendendo a que para a elaboração do plano (documento que materializa o planeamento) é necessário proceder ao levantamento de informação diversificada no qual intervêm os vários elementos da equipa.

O aumento do conhecimento sobre a susceptibilidade a sismos e tsunamis de grandes segmentos da faixa costeira portuguesa, determinou, nas últimas décadas o interesse crescente da comunidade científica portuguesa por essas temáticas. Podem ser referenciados trabalhos de investigação de pequena dimensão individualmente conduzidos e projectos geridos por equipas com abordagens pluridisciplinares.

Desses estudos, pela relação mais estreita com a temática desenvolvida neste trabalho, é de destacar o Projecto ERSTA (Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis no Algarve) desenvolvido entre 2007 e 2008 por 9 instituições nacionais de ciência e tecnologia e coordenada pela Autoridade Nacional de Protecção Civil. A informação foi tratada e analisada num SIG que possibilitou a simulação de sismos e tsunamis que poderão vir a ocorrer no Algarve. Algumas das instituições envolvidas no estudo fizeram abordagens relacionadas com tsunamis: Universidade do Algarve (UALG) fez o zonamento da vulnerabilidade do litoral a tsunami e testou modelos numéricos de tsunamis; o Instituto de Ciências da Terra e do Espaço (ICTE) abordou a perigosidade de tsunami; a Faculdade de Letras da Universidade do Porto (FLUP) elaborou a cartografia da área inundada pelo tsunami de 1755.

O ERSTA articula-se com o Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Lagos. Na secção iv do plano identificam-se os diferentes riscos a que o concelho de Lagos se encontra sujeito, avaliando-se a probabilidade da sua ocorrência e os danos que lhe poderão estar associados. O risco sísmico e de tsunami incluem-se no conjunto de riscos de maior relevância no concelho.

O estudo citado assim como outros consultados da mesma natureza abordam a problemática dos sismos e dos tsunamis a uma escala regional, ou aprofundam apenas o risco sísmico. O PMEPCCL opera á escala municipal, portanto corresponde à área de todo o município. A legislação portuguesa contempla a prevenção dos riscos de forma limitada. As políticas de protecção civil culminam com a criação de Planos de Emergência a escalas nacionais, regionais, distritais ou municipais, gerais ou especiais (Zêzere, 2007). Porém, existe uma clivagem em relação à escala local (Cidade) ou de maior pormenor (subsecção ou edifício).

O presente trabalho propõe uma escala de análise local-cidade, o que será elemento facilitador na determinação da vulnerabilidade a tsunamis, da cidade de Lagos, visando a elaboração de rotas de evacuação com recurso à utilização de um SIG que permitirá a localização o mais exacta possível das áreas afectadas e das áreas susceptíveis de constituírem um local de refúgio, e a intervenção rápida e eficaz das entidades públicas e uma forte participação dos cidadãos na situação de emergência. A percepção do perigo pelas autoridades gestoras do território e pelas populações contribui para o aumento da resiliência e consequentemente para a diminuição das vulnerabilidades.

Espera-se que o trabalho contribua para o despertar de preocupações investigativas no âmbito da vulnerabilidade a tsunamis, das cidades costeiras de Portugal localizadas nas áreas expostas a esses eventos geofísicos.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho de projecto encontra-se dividido em quatro capítulos:

O Capítulo I é dedicado à apresentação e enquadramento da temática do projecto, definindo questões de partida para a investigação, objectivos principais, bem como a motivação e o contributo científico esperado.

O Capítulo II têm um cariz teórico, apresentando os principais conceitos ligados à temática, o estado de arte da investigação na área científica e a descrição mais pormenorizada de algumas metodologias relevantes para o desenvolvimento do projecto.

O Capítulo III descreve as metodologias, as técnicas e o processamento dos dados utilizados neste estudo. Numa primeira secção enquadra-se a área de estudo, de um ponto de vista histórico, geográfico, demográfico e construtivo. A segunda secção explora a criação do modelo conceptual a partir do qual se agregaram os dados provenientes de diversas fontes numa base de dados geográfica. Na terceira secção é descrito o método utilizado para a classificação do edificado e o processo para a aplicação de um índice de vulnerabilidade estrutural. A quarta secção deste capítulo é dedicada à metodologia abordada na estimação da vulnerabilidade da população, com base num índice de vulnerabilidade da população. Por fim, a quinta secção refere-se à metodologia de modelação da evacuação.

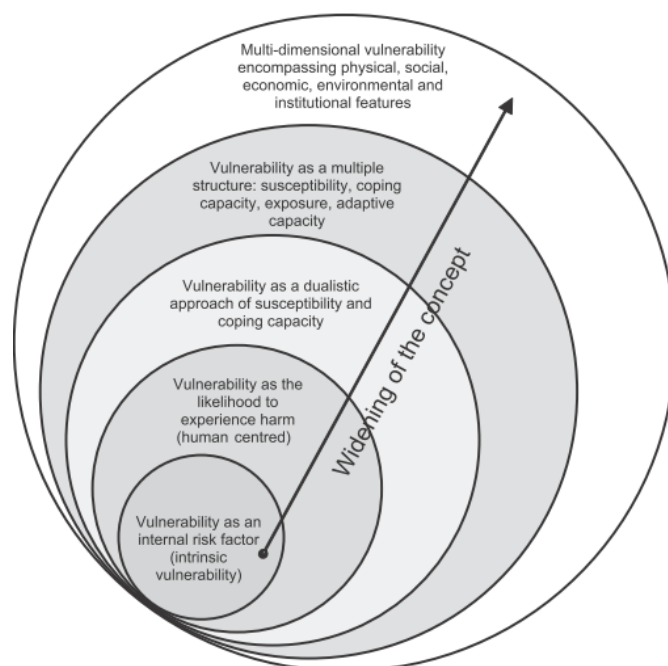
O Capítulo IV destina-se à análise dos resultados obtidos, avaliando os impactes dos cenários de tsunami e das estratégias de evacuação propostos. Na última secção este capítulo é dedicado às conclusões relativas ao trabalho desenvolvido, adoptando uma abordagem crítica quanto às escolhas e abordagens tomadas, seguindo-se de recomendações e reflexões finais, para a possibilidade da aplicação das mesmas metodologias em trabalhos futuros.

## CAPÍTULO II – ESTADO DE ARTE E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo descreve o actual estado de arte da investigação sobre o tema da vulnerabilidade para o risco de tsunami assim como abordagens metodológicas para evacuação de pessoas em situação de catástrofe natural. Serão abordados alguns estudos que contribuíram de uma forma relevante para este trabalho, onde se pretendeu congregar e adaptar processos, métodos e técnicas adoptados por estes, em particular enfatizando os estudos que utilizaram os Sistemas de Informação Geográfica.

### 2.1 Vulnerabilidade

Os conceitos de vulnerabilidade e de risco alcançaram um elevado grau de reconhecimento em diversas áreas, tais como gestão de desastres, investigação sobre mudanças ambientais e estudos de desenvolvimento. Apesar disso os conceitos ainda é um pouco confuso e muitas vezes utilizado com diferentes conotações. A definição mais comum para risco retrata-o como sendo produto de três elementos principais: a exposição, a severidade ou perigosidade e a vulnerabilidade. Segundo Birkmann (2006), a literatura actual abrange mais de 25 diferentes definições, conceitos e métodos para sistematizar a vulnerabilidade. Define ainda diferentes esferas em que sintetiza as perspectivas do conceito (Figura 2) .



**Figura 2 – As esferas da vulnerabilidade.** Fonte: Birkmann (2007).

Quase todas estas abordagens ao conceito de vulnerabilidade vêm-na como uma componente (característica intrínseca do sistema ou elemento) do risco. Isto significa que se trata portanto da condição do elemento ou comunidade exposta ao risco (o círculo interno da figura 2). A segunda esfera reflecte uma definição antropocêntrica do conceito de vulnerabilidade proposta por Wisner (2002) que a define como a probabilidade de um evento extremo causar dano, mortes, perdas ou perturbações às populações e a consequente dificuldade de recuperação. A esfera seguinte enfatiza a dualidade da vulnerabilidade advir da exposição externa e da capacidade de lidar com o evento de perigo. A quarta esfera alarga-a para um

conceito multi-estrutural acrescentando a capacidade de adaptação e de resposta. Por fim a definição mais abrangente têm em conta várias temáticas e parâmetros como as características físicas, económicas, sociais, ambientais ou institucionais. Algumas abordagens nesta última esfera também enfatizam a necessidade de integrar factores de escala global que exercem algum impacto sobre vulnerabilidade, como a globalização ou as mudanças climáticas (Vogel e O'Brien 2004).

Uma vez que as decisões na redução do risco e vulnerabilidade têm de ser tomadas e implementadas a nível nacional e/ou local, a questão da escala de análise torna-se um dos factores mais importantes no desenvolvimento de metodologias. A escolha dos indicadores envolvidos no desenvolvimento de índices de vulnerabilidade está muito dependente da escala adoptada, assim como os pesos que lhes serão atribuídos (contextualização dos indicadores). O problema da abordagem da vulnerabilidade a uma escala territorial de pormenor é a disponibilidade de dados e a dificuldade e morosidade da sua obtenção.

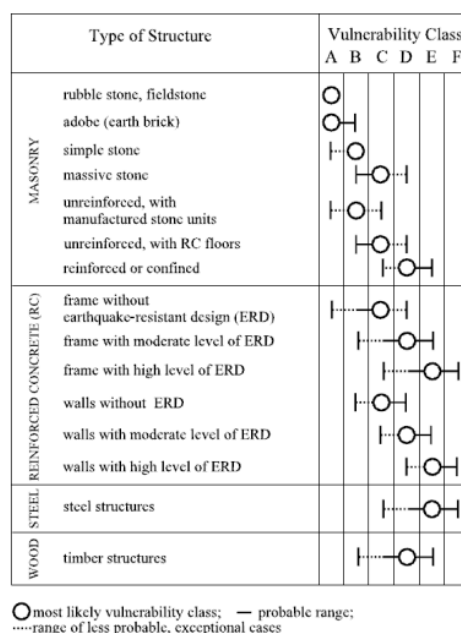
### *2.1.1 Vulnerabilidade estrutural*

Uma grande parte de estudos de vulnerabilidade abrange principalmente aspectos gerais da vulnerabilidade, sendo poucos (mas cada vez mais) os que se focam especificamente ao nível do edificado. A vulnerabilidade dos edifícios normalmente refere-se nas áreas da engenharia a vulnerabilidade estrutural, porque as componentes estruturais são consideradas como o factor de risco interno do edifício exposto ao perigo. Os métodos existentes de avaliação da vulnerabilidade estrutural podem ser divididos três categorias: métodos empíricos (baseados na observação dos danos ocorridos em sismos passados); métodos analíticos (baseados em cálculos estruturais) e métodos híbridos (combinação dos dois anteriores). Para o caso deste trabalho serão apenas abordados métodos empíricos que podem ser representados através de matrizes de probabilidade de dano (MPD) ou do métodos de índice de vulnerabilidade (exemplo da EMS-98).

Grünthal, (1998) e outros membros da Comissão Europeia de Sismologia definem seis classes de vulnerabilidade relacionadas com os tipos de construção face à resposta sísmica dos edifícios. O conceito básico de um método Macrosísmico é que, se o objectivo de uma Escala Macroseísmica é a medida da severidade de um sismo, a partir da observação dos danos sofridos pelos edifícios, pode, do mesmo modo, representar, para fins de previsão, um modelo de vulnerabilidade capaz de fornecer, para uma determinada intensidade, a distribuição danos prováveis (Giovanizzi et al., 2004).

Esta Escala Macrossísmica Europeia foi desenvolvida sob o pressuposto de que se dois grupos de edifícios forem sujeitos a uma mesma acção sísmica, e um dos grupos tiver um melhor desempenho que o outro, então pode-se constatar que os edifícios que sofreram menor dano são menos vulneráveis a um sismo que os que sofreram mais dano (Sumaryono, 2010). A EMS-98 contém uma definição clara das tipologias de construção e a correlação da distribuição do dano para cada grau de intensidade sísmica (Tabela 1). Contudo os modelos de vulnerabilidade baseados na escala macrosísmica deparam-se com dois problemas na definição das classes: a incompletude (a distribuição do dano está incompleta na escala por considerar apenas situações comuns e facilmente observáveis); e a imprecisão das definições qualitativas (a arbitrariedade da tradução dos termos linguísticos para valores exactos de probabilidade) (Giovanizzi, 2004).

**Tabela 1 – Correlação entre classes de vulnerabilidade e tipologia segundo EMS-98**



Trabalhos recentes como os de Ferreira (2012), Vicente et al., (2008), Estêvão (2012), Vicente et al. (2007 e 2008), têm por base e adaptam este método que utiliza a proporção de dano esperado introduzida pela EMS-98. Já trabalhos como o de Alves (2004), procuram definir uma normalização para a elaboração de questionários específicos para trabalho de campo e arquivo da informação, baseados na EMS-98. O projecto Risk-UE (Milutinovic e Trendafiloski, 2003) também procurou adaptar este método na simulação e análise de cenários sísmicos de sete cidades europeias (Barcelona, Bitola, Bucareste, Catânia, Nice, Sófia e Salónica). Para cidades portuguesas temos os exemplos de (Oliveira et al., 2004) para Faro e (Oliveira et al., 2005) e (Barreira et al., 2010) para Lisboa. Este último será de seguida analisado em pormenor.

Em Barreira et al., (2010) com objectivo de estimar a vulnerabilidade sísmica do parque habitacional de Lisboa, os autores recorrem à metodologia RISK-UE. Em primeiro lugar são identificadas e caracterizadas classes tipológicas de edifícios tendo por base a época construtiva, o material de construção e o número de pisos (dados provenientes dos Censos 2001 por subsecção estatística). Seguidamente foram identificadas subsecções estatísticas heterogéneas (onde não existe um atributo classificativo maioritário com percentagem igual ou superior a 55%) que foram homogeneizadas tendo em conta a classificação das subsecções vizinhas e com recurso a fotografias aéreas ou identificação no terreno.

Foram considerados como classes de material de construção betão, alvenaria, taipa e adobe, o parâmetro idade foi agregado em 4 classes (antes de 1919, 1920-1960, 1961-1985, 1986-2009) e o número de pisos em 3 classes (de 1 a 4, de 5 a 7 e mais de 8). Esta categorização foi adaptada à classificação apresentada na Escala Macrossísmica Europeia (EMS98), que varia de A a F (em que A é a classe mais vulnerável e F a classe menos vulnerável) como representado na tabela 2.

**Tabela 2 – Classificação da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional de Lisboa.** [Fonte: Barreira et al., (2010)]

		Betão	Alvenaria	Taipas/Adobe	Outro
Antes de 1919	Todos		B	A	A
1920 a 1960	1 a 4 5 a 7 + de 8	C	C	A	A
1961 a 1985	1 a 4 5 a 7 + de 8	C	C	A	A
1986 a 2009	1 a 4 5 a 7 + de 8	D	D	A	A

Neste método (RISK-UE) apresentam-se duas aproximações possíveis para gerar as relações de vulnerabilidade:

Método LM1 - análise dos danos observados após a ocorrência de um sismo;

Método LM2 - estudos analíticos do comportamento da estrutura face a uma solicitação sísmica.

Barreira et al., (2010), adoptou o método LM1 que se baseia na correlação estatística entre a intensidade macrossísmica e o dano observado em sismos passados, o qual é deduzido a partir da escala EMS98 que, implicitamente, já inclui um modelo de vulnerabilidade qualitativo. O índice de vulnerabilidade que daqui advém pode variar entre 0 e 1, o seu valor médio está tabelado para as diferentes tipologias construtivas permitindo calcular as matrizes de probabilidade de dano (MPD) e as funções de vulnerabilidade semi-empíricas médias (MVF) para cada uma das tipologias definidas na EMS98.

Jelínek et al. (2009) estima a vulnerabilidade utilizando os parâmetros elevação, número de andares e distância da costa. Assim como em Sumaryono (2010) não dispõem de dados acerca da condição dos edifícios adoptando uma abordagem de análise e processamento de imagem (detecção remota) para classificar os edifícios.

Batista *et al.* (2006) estudam a vulnerabilidade tsunami no porto de Casablanca-Marrocos e área adjacentes. Usa a combinação de modelos numéricos de inundação por tsunami, dados de levantamento de campo e informação geográfica. Admite como pior cenário de referência o tsunami de 1755 (Lisboa). O objectivo do modelo de vulnerabilidade final consiste no fornecimento de informação mais detalhada sobre a vulnerabilidade a tsunami do parque habitacional de Casablanca. Neste estudo para a determinação da vulnerabilidade dos edifícios a tsunami (BTV) foi adoptada uma metodologia que assenta em 3 passos:

- Passo 1 - Identificação e calibração dos critérios que controlam a BTV  
São considerados 3 parâmetros : Área inundada; tipologia do edifício; qualidade das barreiras marítimas. Estes parâmetros por não afectarem da mesma forma a BTV foi atribuído um factor de peso para calibrar cada um.

**Tabela 3 – Parametros responsáveis pelos controlo do BTV e correspondente factor de peso ( $F_w$ )**

Fonte: Barreira et al., (2010)

Parâmetros/Critérios	Factor de peso ( $F_w$ )
Tipologia do Edifício	$F_{w,b}$
Área Inundada	$F_{w,i}$
Barreiras marítimas	$F_{w,s}$

- Passo 2 - Classificação ligada a cada critério (subdivisão das classes)  
É atribuído um factor ( $F_c$ ) a cada classe. Os edifícios são classificados em 4 categorias principais – classe A a classe D, com base na estrutura, no material de construção e na qualidade da construção (dados levantados no campo). A identificação e classificação de potenciais zonas de inundação teve por base o caso de estudo extremo de entre os vários modelos de inundação desenvolvidos. Estas zonas são subdivididas pela altura da onda (*flow depth*) que varia entre os 0-6m e dão origem a 3 classes. Por fim, as barreiras marítimas são classificadas em 3 classes (Ausente, Parede de betão e Tetrapods).
- Passo 3 – Estimação do modelo BTV  
O modelo BTV foi então estimado a partir dos factores de peso e de classificação para cada classe de edifícios da seguinte forma:

$$\text{Equação 1 – BTV(\%)} = \frac{(F_{c,b} \times F_{w,b}) + (F_{c,i} \times F_{w,i}) + (F_{c,s} \times F_{w,s})}{\sum_{k=1}^3 (F_{c,\max} \times F_{p,k})} \times 100$$

Os valores calculados por esta equação são associados a 5 categorias de dano esperado para os edifícios que variam entre D0 (sem dano) a D4 (destruição total).

Em Dall’Osso et al. (2009) é desenvolvido um índice relativo de vulnerabilidade a tsunamis (RIV), que é calculado como sendo a soma de dois elementos diferentes: a vulnerabilidade estrutural dos edifícios (SV) associada à força hidrodinâmica horizontal do fluxo da água; e a vulnerabilidade dos edifícios em contacto com a onda (WV). Seguem o modelo PTVA desenvolvido em Papathoma e Dominey-Howes (2003), tornando-o mais robusto, melhorado e actualizado.

$$\text{Equação 2 - } RVI = \frac{2}{3}(SV) + \frac{1}{3}(WV)$$

Tanto “SV” como “WV” variam entre 1 e 5, sendo atribuído um coeficiente de ponderação maior a SV porque como justificam os autores, danos severos na capacidade de suporte (fundações) da estrutura muito provavelmente levariam a dispendiosas reparações de valor igual ou superior ao do próprio edifício afectado (tem maior peso num posterior cálculo do risco).

A vulnerabilidade estrutural é calculada tendo em conta três factores: os atributos da estrutura do edifício (BV), sendo estes o número de pisos, o material e técnica de construção, a hidrodinâmica do piso térreo, as fundações, a forma e orientação da planta do edifício, objectos móveis (detritos, carros, barcos, etc) e por fim as condições de preservação; o factor de protecção (Prot) que conjuga elementos como a presença de paredões ou barreiras naturais ou antrópicas (muros ou vedações); e a exposição (Ex) que relaciona a altura da onda com a localização do edifício. O cálculo da vulnerabilidade à intrusão de água WV é feito pelo quociente entre o número de pisos inundados sobre o total do número de pisos.

Para a estimação do peso relativo de cada atributo e a comparação entre pares de atributos, foi levada a cabo com o software de análise multicritério e de apoio à decisão M-Macbeth (Bana Consulting Lda). Esta metodologia acabou por ser testada na área de Maroubra em Sidney, Australia. A utilização dos SIG é introduzida nesta fase para correr o modelo de análise e para a apresentação espacial dos dados. Foram utilizadas imagens aéreas orto-rectificadas e georreferenciadas, um Modelo Digital de Superfície LIDAR, dados de campo dos edifícios (para todos os factores inseridos na equação do RIV) e um ficheiro vectorial

dos edifícios resultante da digitalização manual dos polígonos que os delimitam. Foi utilizado um cenário hipotético de inundação por tsunami com um *run-up* de mais de 5m.

Este trabalho introduz um novo conjunto de atributos numa abordagem multicritério que se sabe afectarem a vulnerabilidade dos edifícios a tsunami. Trata-se portanto de um modelo muito complexo que tem como principal desvantagem a dificuldade na aquisição dos dados necessários para a classificação de todos os atributos em causa.

### 2.1.2 Vulnerabilidade Social

De um outro ponto de vista, o da componente humana, surgem as abordagens sociais ao problema da vulnerabilidade das populações, com o pressuposto de que a vulnerabilidade é uma condição social. Neste contexto a vulnerabilidade pode ser compreendida como a (in)segurança da sociedade *versus* os perigos (*hazards*) naturais ou de origem antrópica (Birkmann, 2006). Para além da inundação física, a vulnerabilidade também depende da composição social da população exposta e da sua capacidade de resposta ao impacto potencial de um tsunami (Birkmann et al., 2011).

O impacto de desastres pode ser reduzido através do desenvolvimento de melhores fatores sociais e organizacionais, tais como o aumento da riqueza, a disseminação generalizada de seguros contra desastres, a melhoria das redes sociais, o aumento do comprometimento e participação das comunidades, e o entendimento local do risco (o risco localmente percebido e limites de aceitação localmente definidos) (Cutter et al., 2008). Isto ressalva que o estudo da vulnerabilidade, não se circunscreve apenas ao âmbito dos sistemas naturais ou ao ambiente construído.

Nesta área são de salientar os trabalhos de Cutter onde inclui componentes como a raça e a classe, riqueza, população envelhecida, população com necessidades especiais e emprego num índice de vulnerabilidade social (SOVI). Outros autores como Cardona (2005), Vincent (2004), Adger et al., (2004) desenvolveram recentemente índices sócio-económicos de vulnerabilidade.

Um caso prático a destacar é o de Martins (2010) no qual é avaliada a vulnerabilidade sócioecológica ao risco sísmico no concelho de Vila Franca do Campo, Açores, ao nível da subsecção estatística. Nesta trabalho o autor modela a vulnerabilidade recorrendo a uma análise multicritério, que assume que os processos de tomada de decisão baseiam-se em assumpções teóricas de considerável grau de incerteza e subjectividade, que dificultam a selecção de critérios e a sua correlação. Com este método são então criadas diversas alternativas/hipótese de escolha e combinação de atributos para responder ao problema. Numa segunda fase é utilizado o método AHP (processo hierárquico analítico) para a estimação do peso dos critérios de classificação através de uma matriz de comparação da importância relativa entre pares de factores que lhes atribui valores dentro de uma escala quantitativa. Por fim é aplicado o método de parametrização OWA (Média Ponderada Ordenada) que ao agregar os critérios pelo cálculo da média ponderada atribuindo-lhes pesos de ordenação, o que permite decidir o grau de risco do processo de agregação. O modelo resultante da aplicação destas técnicas estrutura a vulnerabilidade sócioecológica em três níveis hierárquicos de crescente complexidade (*bottom-up*).

O 1º nível compreende os quatro grandes conjuntos em que se decompõe a vulnerabilidade: População, Sócioeconómico, Ambiente Construído e Exposição ao Perigo. O factor População incorpora indicadores compostos pela agregação dos atributos de 3º nível (atributos da base de dados Censos2001), sendo estes de 2º nível: a Estrutura etária; o Género e a Densidade Populacional. A vulnerabilidade Sócioeconómica é então



composta pelos factores de 2º nível Índice de dependência potencial, Taxa de analfabetismo, Grau de instrução e Taxa de desemprego. O Ambiente Construído integra factores relacionados com o edifício e alojamento, designadamente, a Época e Estrutura de construção, o Número de Pisos, o tipo de fundação e o tipo de Ocupação dos alojamentos clássicos. A Exposição ao perigo não contempla um 3º nível hierárquico, sendo considerados os elementos expostos ao perigo a População Residente, os Edifícios construídos, os Alojamentos clássicos e o Uso do Solo.

Esta combinação por etapas através do método OWA culmina com a criação de cenários de vulnerabilidade (de risco mínimo a máximo) para cada nível hierárquico, agregando-os sucessivamente até ao “nível 0” da vulnerabilidade sócio-ecológica geral.

Num outro caso de estudo, “o risco não percepcionado para as zonas costeiras da Europa: Os tsunamis e a vulnerabilidade de Cádis, Espanha” (Birkmann et al. 2011) publicado na Revista Crítica de Ciências Sociais (CES), a estimativa da vulnerabilidade social, para além de uma abordagem quantitativa de dados numéricos, engloba também métodos qualitativos. A vulnerabilidade relacionada com a dimensão social, nesta investigação, resulta da agregação de três componentes: a exposição, a susceptibilidade e a capacidade de resposta. A unidade de exposição é a de pessoas/ha ou o número total de pessoas que potencialmente podem ser afectadas pelos diferentes cenários de inundação em cada secção (dados vectoriais de inundação produzidos pelo Instituto de Hidráulica da Universidade da Cantábria). A susceptibilidade tem por base dois indicadores; um relativo aos grupos etários de maior risco (<6 e >65), o outro relativo ao grau de dependência de género. Para o cálculo da capacidade de resposta foram agregados num único indicador a percentagem de edifícios com mais de um piso que permitam a evacuação vertical das pessoas, a percentagem de pessoas com frequência escolar superior a 6 anos, o número de crianças com menos de 6 anos e de pessoas analfabetas e de imigrantes não falantes de espanhol que teriam dificuldade em ler e entender uma mensagem de alerta.

A componente qualitativa deste estudo englobou métodos como as entrevistas a especialistas, entrevistas a leigos e grupos de discussão e transectos, que abordam e se concentram em informações intangíveis, como a percepção do risco e a preparação institucional, por exemplo no que diz respeito à responsabilidade institucional pelo alerta rápido de tsunamis ou pela comunicação dos riscos (Birkmann et al. 2011). Deste modo os autores puderam avaliar o grau de consciencialização por parte das autoridades e população para o risco de tsunamis.

## **2.2 Da Resiliência ao Planeamento da Evacuação**

O conceito de resiliência, num sentido mais lato, corresponde à capacidade de persistência e manutenção dos sistemas em situação de mudança, isto por outro lado também implica segundo Folk (2006) considerar a capacidade do sistema absorver distúrbios e reorganizar-se enquanto ocorre a mudança, mantendo as mesmas funções, estrutura e identidade. Este conceito compreende portanto também outros dois, o de adaptação e o de capacidade de resposta. A resiliência, no caso de um desastre natural como o tsunami, traduz-se pela capacidade dos indivíduos e unidades sociais (comunidades e organizações) em estarem preparados para o evento perturbador, com recurso às políticas de mitigação de risco, de preparação, resposta e recuperação-pós desastre, de modo a minimizar a ruptura social (Bruneau et al., 2003).

Enquanto propriedade da resiliência, a capacidade de adaptação é materializada através da gestão do risco, que pode ser entendida como o processo que engloba a preparação, a mitigação, a resposta e a recuperação de um território exposto à perigosidade de um desastre, com o objectivo de minimizar perdas humanas,

ruptura do sistema social e económica. Enquanto a fase de preparação passa principalmente pela antecipação do desastre, a gestão de emergência possui um carácter reactivo, de resposta imediata ao evento danoso. Medidas como a emissão de alertas e de evacuação das populações enquadram-se nessa fase de resposta associada ao domínio da gestão da emergência, que por sua vez, numa fase posterior inclui também as operações de busca e salvamento e de segurança das áreas afectadas (Haddow *et al.*, 2007).

Um plano de evacuação trata-se então de uma medida de resposta ao risco de um determinado desastre com o propósito de salvar vidas (Scheer *et al.*, 2011). Como já referido, no contexto deste trabalho, o desenvolvimento de um plano de evacuação prende-se com o facto de este ser um factor que contribui para o aumento da resiliência da população vulnerável a um tsunami. A determinação da vulnerabilidade do edificado é de extrema importância no que diz respeito à evacuação, porque um edifício tanto pode ser responsável por mortos e feridos caso colapse, como por outro lado, sob certas condições pode fornecer abrigo para evacuação.

Scheer *et al.* (2011) refere que o principal objectivos de um plano de evacuação devido a tsunami deverá ser a orientação de todas as pessoas afectadas ao longo de rotas de evacuação em direcção a áreas seguras (fora do alcance das ondas), também chamados de pontos de encontro ou abrigos de emergência, e em tempo útil (período entre o alarme e a chegada da primeira onda, tendo em conta a distância a percorrer por cada pessoa até ao abrigo mais próximo).

Os abrigos horizontais são locais que se encontrem fora das áreas críticas (não atingidas pelo *run-in* do tsunami) que possam satisfazer as necessidades de alojamento de um considerável número de pessoas evacuadas durante o período da inundação. Devem ser facilmente acessíveis (vias desobstruídas e não inundadas), situados a uma distância racional do ponto de partida. Para que uma instalação possa ser caracterizada como potencial abrigo vertical deve conseguir suportar o número de pessoas (discriminando população mais vulnerável crianças ou idosos) que se espera virem a utilizar os abrigos. Os abrigos verticais devem ser estruturas pouco vulneráveis a tsunamis, resistentes a sismos com mais de 3 andares. Estes edifícios devem encontrar-se dentro da área crítica (zona de perigo de tsunami) e podem permanecer rodeados por água durante algum tempo, enquanto os abrigos horizontais se encontrarem inacessíveis. Eles deverão ter acesso fácil e as rotas de acesso deverão ter capacidade apropriada. Os abrigos não deverão ficar sobrelotados *a priori*, tornando-se assim inutilizáveis para alojar um número de pessoas adicional (Scheer *et al.*, 2011).

No estudo de Sumaryono (2010) para a evacuação por tsunami para a cidade de Cliacap, Indonesia, os edifícios candidatos a abrigo vertical foram identificados calculando a seguinte fórmula (*Tsunami building capacity*):

**Equação 3** -  $TEBC = \{(Capacity\ Score * Building\ Area * Amount\ of\ floor) / Space\ needed\ for\ 1\ person\}$

Basicamente selecciona edifícios com maior capacidade de alojamento de evacuados relacionando a área do edifício e o número de pisos com o espaço necessário para acomodar uma pessoa. Constrói depois um modelo de acessibilidade a esses edifícios sobre uma superfície de custo (greilha bidimensional) assente numa rede de estradas. Esta modelação da evacuação tem por base a superfície de acessibilidade e a capacidade dos abrigos. O tempo de evacuação neste modelo foi em 30 minutos (tempo estimado de chegada da primeira onda 40min, 5min tempo até ser accionado o alarme e mais 5 minutos de tempo de reacção ao alarme). Numa fase seguinte são criadas áreas de influência para cada abrigo vertical, uma primeira (*Evacuation Time Area*) que define o número total de pessoas capazes de alcançar o abrigo num

dado tempo (menor que o tempo de evacuação de 30min) e uma segunda (Evacuation Shelter Capacity Area) que define o número de pessoas que podem ser alojadas nos abrigos tendo em conta a sua capacidade. As rotas de evacuação foram depois geradas utilizando um modelo hidrológico (ArcGIS-Hydrology Modelling) tendo por base as áreas de influência e a localização dos abrigos, e pelo cálculo de *flow directions* (para a direcção da rota) e de *flow accumulation* (células com maior custo fluem para células de menor custo de velocidade).

Em Dewi (2012) Cilacap, e Şalap *et al.* (2011) no caso de estudo da Baía de Göcek, Turquia, é utilizada a mesma modelação da acessibilidade (ETA e ESCA) mas as rotas de evacuação foram geradas pelo algoritmo *Closest Facility* sobre um rede de estradas vectorial. Estas rotas são então criadas considerando o caminho mais próximo tendo o tempo como custo da deslocação. Dewi (2012) tem em consideração dois cenários, um nocturno e outro diurno com diferentes tempos de resposta, número de população a evacuar e capacidade de alojamento dos abrigos. Na situação de Lagos será interessante confrontar cenários de época alta e de época baixa por exemplo, por tratar-se de uma zona balnear com oscilações sazonais na população presente.

No caso de estudo para a Barra de Santiago, na área costeira de El Salvador, González-Riancho *et al.* (2013) é tido em conta o tempo necessário para o aviso por parte das autoridades responsáveis e são identificadas medidas para melhorar a evacuação. Faz uma clara distinção entre a evacuação vertical e a evacuação horizontal, nesta última estabelecendo diferentes zonamentos tendo em conta modelos numéricos de inundação por tsunamis. O modelo de evacuação proposto neste estudo também utiliza o algoritmo *Closest Facility* (um tipo de análise de rede para localizar os locais mais próximos (*facilities*) dos pontos (*incidents*), com base numa impedância escolhida como os anteriores mas distingue dois tempos de evacuação, um rápido e um lento (atribuindo diferentes velocidades de deslocação) para diferentes tipos de população (um para população adulta, outro para crianças, idosos e inválidos). No final é elaborado um Balanço de Evacuação que estabelece a relação entre a percentagem de população evacuada e a população que não é possível evacuar para cada ponto de origem, classificando-os consoante a viabilidade da evacuação.

## 2.3 Tecnologias SIG e aplicações de implementação

O valor específico das Ciências de Informação Geográfica (CIG) no contexto dos riscos é de que muitos dos fenómenos e elementos envolvidos têm uma representação explicitamente geográfica. Portanto os SIG são uma ferramenta que nos permite explicar a geografia, e a geografia é fundamental na compreensão, no planeamento e na comunicação dos perigos, dos riscos e das vulnerabilidades (MacFarlane, 2005). Os SIG já existem há aproximadamente 40 anos, apesar disso só se massificaram a partir de meados dos anos 80. Desde então são amplamente utilizados não só na avaliação e antecipação do risco, no planeamento e resposta à emergência mas também, e cada vez mais, na comunicação pública dos resultados.

No contexto da análise de redes em ambiente SIG é desenvolvida, no Verão de 2012, uma nova ferramenta para a extensão Network Analyst do ArcGIS baseada no algoritmo CasPer (algoritmo de redes neuronais construtivo, introduzido em 1996 por Nick Treadgold e Tom Gedeon). É fruto do trabalho de K. Shahabi da Universidade do Sul da Califórnia em parceria com a ESRI (nomeadamente a equipa do *Application Prototype Lab*). O CasPer é um algoritmo de aprendizagem heurística supervisionada, partindo de dados de treino (neste caso um ponto de origem e um de destino) previamente determinados pelo utilizador, produz uma função inferida a partir de interacções sucessivas, que pode ser utilizado para o mapeamento de novos

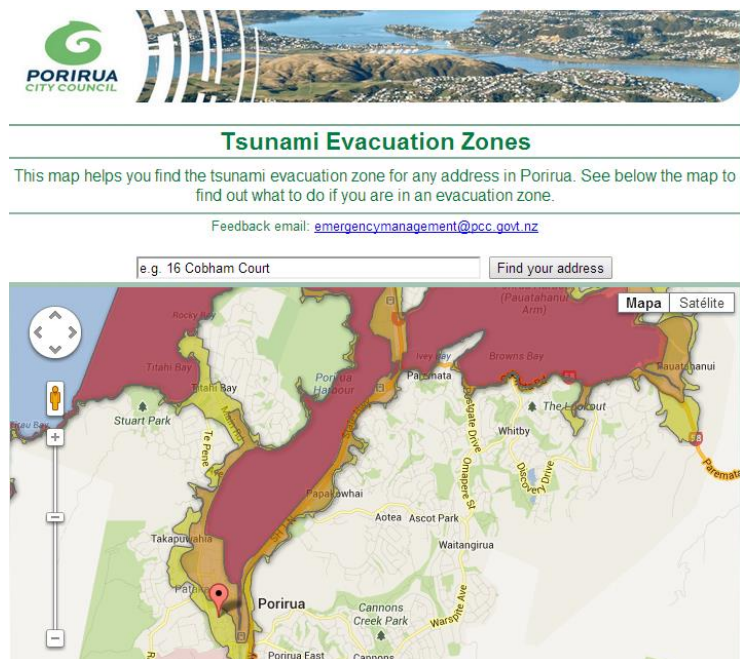
exemplos (Treadgold and Gedeon, 1997). No contexto da análise de redes (em SIG) este algoritmo permite otimizar a performance de generalização das rotas ou trajectos que são gerados, ocupando o menor espaço possível na rede (condicionado pela variáveis de custo de entrada ou de *input*).

O que o ArcCASPER (*Capacity-Aware Shortest Path Evacuation Routing*) traz de inovador em relação ao algoritmo de caminho mais próximo *Closest Facility*, é uma modelação da evacuação mais dinâmica com tempos de escoamento (custo) mais realistas para cada troço de estrada tendo por base a capacidade da via e o número de evacuados. Cria rotas que minimizam o congestionamento das vias, redirecciona o fluxo de evacuados para um novo refúgio ou abrigo caso a capacidade de alojamento do mais próximo seja excedida e possibilita, para além do conhecimento do tempo de evacuação de cada rota, a consulta do número de pessoas alojadas em cada abrigo.

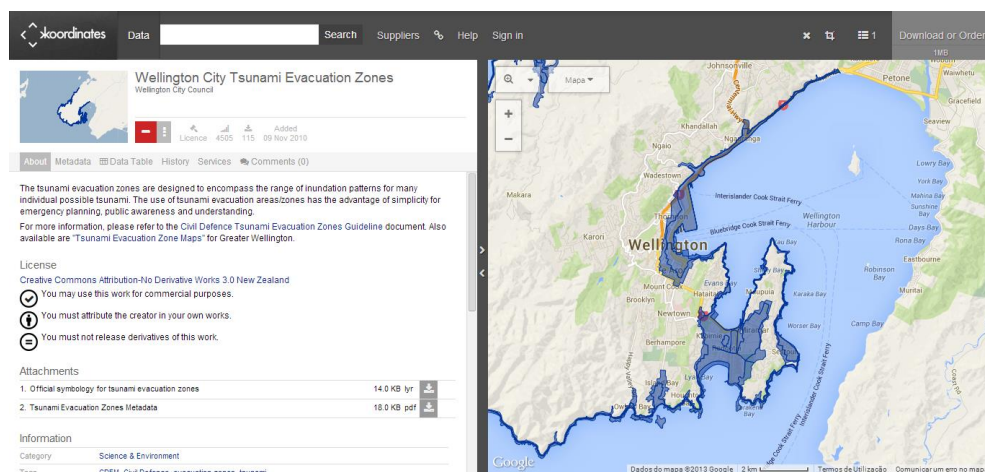
Relativamente às aplicações SIG relacionadas com o risco de tsunami, pode-se verificar que actualmente as mais disseminadas são as baseadas na Web. Tratam-se dos vulgarmente conhecidos Web-Maps que utilizam serviços de mapas (e.g. GoogleMaps, Bing-Microsoft, OpenStreetMaps, etc) onde geralmente são sobrepostas camadas (*layers*) de informação vectorial referente a áreas inundáveis, com perigo de inundação ou sujeitas a evacuação em caso de alarme de tsunami. Esta informação geográfica é alojada em servidores de mapas como o ArcGIS Server, o *Open Layers* ou o *MapServer*, que possibilitam a utilização de diferentes interfaces e diversas formas de apresentação e de disponibilização de mapas na internet.

Estas aplicações são geralmente implementadas por organismos governamentais e fazem parte de programas de gestão de risco de tsunami e planeamento de emergência. Têm o objectivo de alertar a população para o risco de tsunami e consequentemente aumentar o estado de preparação e a sua resiliência. Por esta razão são simbolicamente simples e de fácil utilização para uma melhor compreensão por parte dos utilizadores (a utilização dos serviços de mapas de base mais conhecidos confere-lhes também um bom grau de familiaridade).

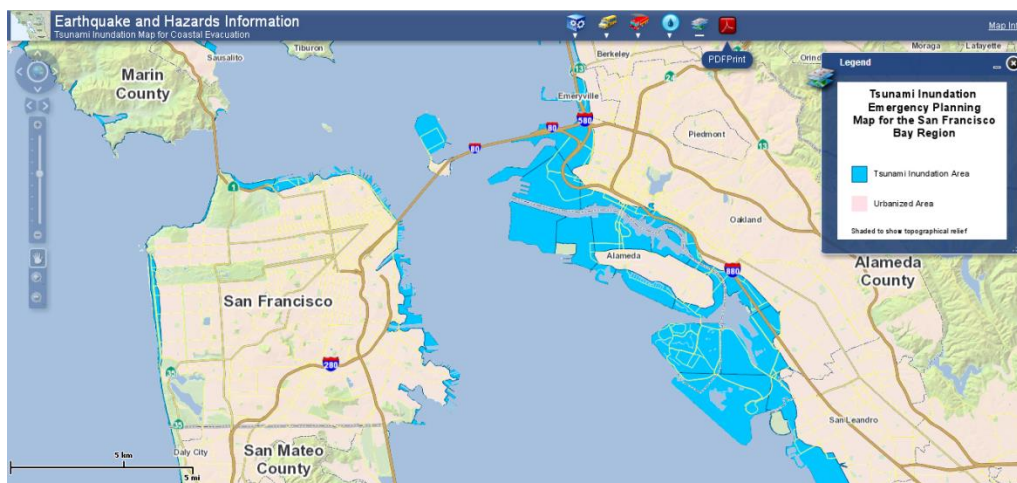
Como bom exemplo de implantação destes sistemas pode-se destacar os casos dos *web-maps* de zonas de evacuação tsunami das cidades de Wellington e de Porirua desenvolvidos pelos respectivos governos locais e coordenados pelo Ministério da Protecção Civil e Gestão de Emergências (*The Tsunami Working Group*) da Nova Zelândia (Leonard et al., 2008) (figuras 3 e 4) (Porirua City Council, 2013 e Wellington City Tsunami Evacuation Zones, 2013). No caso de Porirua a aplicação classifica a área a evacuar em três zonas de evacuação consoante a exposição ao risco e possibilita a pesquisa de moradas (através de *address geocoding*) para que o utilizador identifique a sua localização e possa ter informação de como proceder em caso de emergência. A aplicação para a cidade de Wellington à semelhança de outras como o caso da aplicação desenvolvida para a cidade de São Francisco, EUA (figura 5) pela *Califórnia Emergency Management Agency* (CalEMA) e conjunto com a *Califórnia Geological Survey* (CGS), apenas disponibilizam a visualização das áreas de evacuação (combinação de informação de diversos cenários de inundação por tsunami).



**Figura 3 – Aplicação web de zonas de evacuação tsunami para a cidade de Porirua, Norte da Nova Zelândia.**



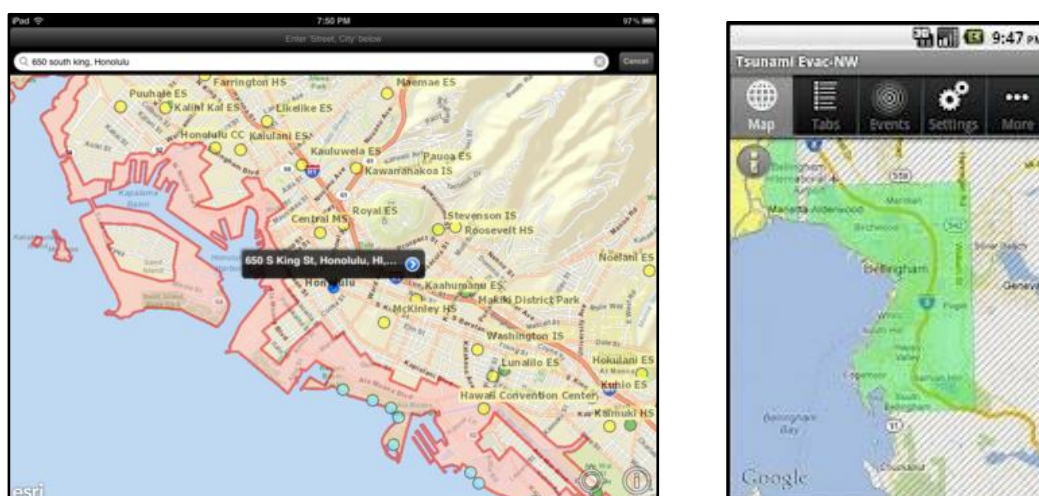
**Figura 4 - Wellington City Tsunami Evacuation Zones, Nova Zelândia**



**Figura 5 - Tsunami Inundation Emergency Planning for the San Francisco Bay Region**

Um problema levantado a cerca de aplicações desta natureza baseadas na Web é a questão da acessibilidade pública a estes sites governamentais em alturas críticas como no período após a emissão de um alerta de tsunamis. Um exemplo registado desta situação aconteceu quando após o sismo de 2011 em Tohoku no Japão, os sites governamentais Havaianos que dispunham de informação geográfica relativa a zonas de evacuação e abrigos “foram abaixo” devido ao pico de pedidos simultâneos por parte dos utilizadores.

Desde então começam a surgir várias soluções de SIG Móvel para fazer face a este problema. Os chamados LBSs (*Location Based Services*) para além da mobilidade proporcionada pelos *smartphones* e *tablets*, tiram também partido dos receptores de Wi-Fi (possibilidade de ligação permanente à internet) e GPS para determinar permanentemente a posição do utilizador. Estas características possibilitam que app's (aplicações móveis) como a *Honolulu Tsunami Evacuation Zones* app (criada sobre a API do ESRI ArcGIS móvel, 2012), a *TsunamiEvac-NW* desenvolvida pela *Northwest Association of Networked Ocean Observing Systems* (NANOOS, 2012) ou o projecto *TRIS* (*Tsunami Evacuation Routing and Information Service*, 2013) desenvolvido em parceria pelas Universidades de Carinthia, Austria e Canterbury Nova Zelândia, possam indicar ao utilizado se se localiza ou não numa zona a ser evacuada e também calculam o percurso e indicam direcções até ao abrigo mais próximo.



**Figura 6 – À esquerda screenshot da Honolulu Tsunami Evacuation Zones app (versão tablet). À direita screenshot TsunamiEvac-NW app (versão smartphone)**

Associada também aos dispositivos móveis, existe uma tecnologia de difusão celular de alertas de emergência, o *Cell Broadcast Emergency Alerts* que permite que mensagens possam ser difundidas a todos os equipamentos móveis e dispositivos semelhantes dentro de uma área geográfica. Esta área geográfica corresponde à cobertura da célula ou estação base (*base station*) da rede de telecomunicações onde se encontra o dispositivo móvel.

Ao combinar-se as áreas de evacuação com estas áreas de cobertura celular podem ser emitidos alertas selectivos à população que se encontra em perigo. Esta tecnologia já foi posta em prática em diversos países com é o caso do Japão, dos EUA e do Chile. Uma nova geração desta tecnologia a *Wireless Emergency Alerts* (WEA baseada em redes Wi-Fi) tem a vantagem de contornar o problema do congestionamento da rede GSM, e possibilita o envio de imagens, mapas de evacuação para além da informação em texto, a um maior número de pessoas em menos tempo que o Cell Broadcast.

Todas estas inovações tecnológicas permitem que decisores consigam fazer chegar mais fácil e eficazmente a informação sobre tsunamis à população mas estão fortemente condicionadas pelo nível de desenvolvimento dos países e regiões. O acesso a estas tecnologias e a velocidade a que evoluem (e se tornam obsoletas) não é acompanhado pela maioria da população mundial, por esta razão não devem ser completamente substituídas as formas de comunicação mais tradicionais, nomeadamente a distribuição de panfletos e brochuras, a publicação em listas telefónicas ou a difusão de alertas transmitidos por rádio e televisão.

## CAPÍTULO III – METODOLOGIA E PROCESSAMENTO

Neste capítulo, em primeiro lugar faz-se uma apresentação da área de estudo enquadrando-a segundo aspectos relevantes para o trabalho, e de seguida apresenta-se a metodologia adoptada para avaliação das vulnerabilidades e modelação da evacuação.

### 3.1 Área de estudo

#### 3.1.1 Introdução Histórica

A origem da sua toponímia é Lacobriga que contém a palavra celta Briga (altura), que pode assumir a existência de uma fortificação antes da ocupação romana (Neto et al., 2011). Na verdade os registos históricos apontam para a fundação da povoação cerca de 2000 a.c. (período neolítico). Este território foi ocupado pelos Cartagineses por volta do sec. IV a.C., e mais tarde pelos Romanos no sec. I a.C. Estas duas civilizações deixaram fortes vestígios das suas ocupações que perduraram por séculos. Após ter sido ocupada pelos Visigodos e pelo império Bizantino, Lagos transformou-se numa importante cidade Árabe (Neto et al., 2011). Apenas em 1251 foi integrada no território do Reino de Portugal, tornando-se num porto militar estratégico e mais tarde no centro histórico dos Descobrimentos Portugueses.

“Domingo, 1 Novembro de 1755, dia de Todos os Santos, (...) Sentia-se no ar um cheiro a enxofre. Por volta das nove e meia da manhã ouviu-se um ruído medonho (...) abriram-se fendas no chão e muitos edifícios caíram (...) o mar recuou deixando as praias a seco (...) uma enorme massa de água, surgiu do lado Sueste da Baía de Lagos, (...) a esta vaga seguiram-se duas outras.” (Vitor et al, 2006)

O sismo de 1755 teve consequências devastadoras para a cidade de Lagos, quase 90% dos edifícios da cidade foram destruídos, provocando cerca de 400 mortes numa população de 3000 habitantes (segundo os relatos do clero). Os efeitos devastadores das ondas do tsunami (de aproximadamente 11 metros) foram sentidos até 4km da costa. A paisagem urbana foi fortemente afectada, os sobreviventes por falta de resposta das autoridades construíram um bairro de barracas a Norte das muralhas da cidade reutilizando materiais dos escombros. Toda a economia local ficou arruinada, baseava-se sobretudo na agricultura e na pesca, e nem as infraestruturas portuárias e embarcações, nem campos de cultivo e alfaias agrícolas foram poupados.

A recuperação da cidade levou quase cem anos, contudo a resiliência dos habitantes contribuiu para mitigar a degradação social e urbana provocadas pela catástrofe natural. Combateram e formaram uma resistência às Invasões Francesas e defenderam durante a Guerra Civil Portuguesa a causa liberal. Apenas no sec. XIX, com a construção de fábricas da indústria conserveira, pela mão de industriais estrangeiros, nomeadamente gregos italianos e franceses, vem a dar-se a recuperação económica.

Actualmente as principais actividades do sector secundário são a indústria de montagem de componentes electrónicos, corte de mármore, fabrico de peças decorativas, cerâmica artística, rendas e doçaria. Apesar da área agrícola ocupar cerca de 44% do total do concelho, o sector primário, que consiste no cultivo de cereais e de frutos secos, em prados temporários e culturas forrageiras, no pousio, na vinha, nos prados e pastagens permanentes, aliado à reduzida densidade florestal (cerca de 13%) representa cada vez menor papel na economia do concelho.



Desde os anos 60 e principalmente após a década de 80 do século XX, surge um novo fenómeno que à semelhança do terramoto de 1755 gerou profundas mudanças na economia e no tecido social e urbano da cidade: O turismo.

### 3.1.2 Enquadramento Geográfico

A cidade de Lagos está localizada na costa meridional de Portugal no Barlavento (zona ocidental) região do Algarve, estende-se pela margem direita do rio Bensafirim até à Baía de Lagos. É capital de um concelho (carta de foral de 1255) com 31 048 habitantes o que corresponde a uma densidade populacional de 145,87 hab./km<sup>2</sup> (Censos 2011) e é composto por 4 freguesias (alterações registadas nos limites administrativos pela Reorganização Administrativa Territorial Autárquica da Lei nº 11-A/2013 de 28 de Janeiro): União das freguesias de Bensafirim e Barão de São João, União das freguesias de Lagos (São Sebastião e Santa Maria), Odiáxere e Luz.

O concelho de Lagos é limitado a oeste pelo concelho de Vila do Bispo, a este pelo de Portimão, a norte pelo de Monchique e Aljezur e a sul pela costa Atlântica. O clima é temperado mediterrânico (Verões quentes e secos e Invernos suaves), apresenta um regime de precipitação irregular que se concentra mais nos meses de Outono e Primavera.

A rede hidrológica do concelho é pouco densa, existindo recursos hídricos como a albufeira de Odiáxere, e os principais cursos de água são respectivamente a Ribeira de Bensafirim, Ribeira de Sabrosa e Ribeira de Vale do Barão.

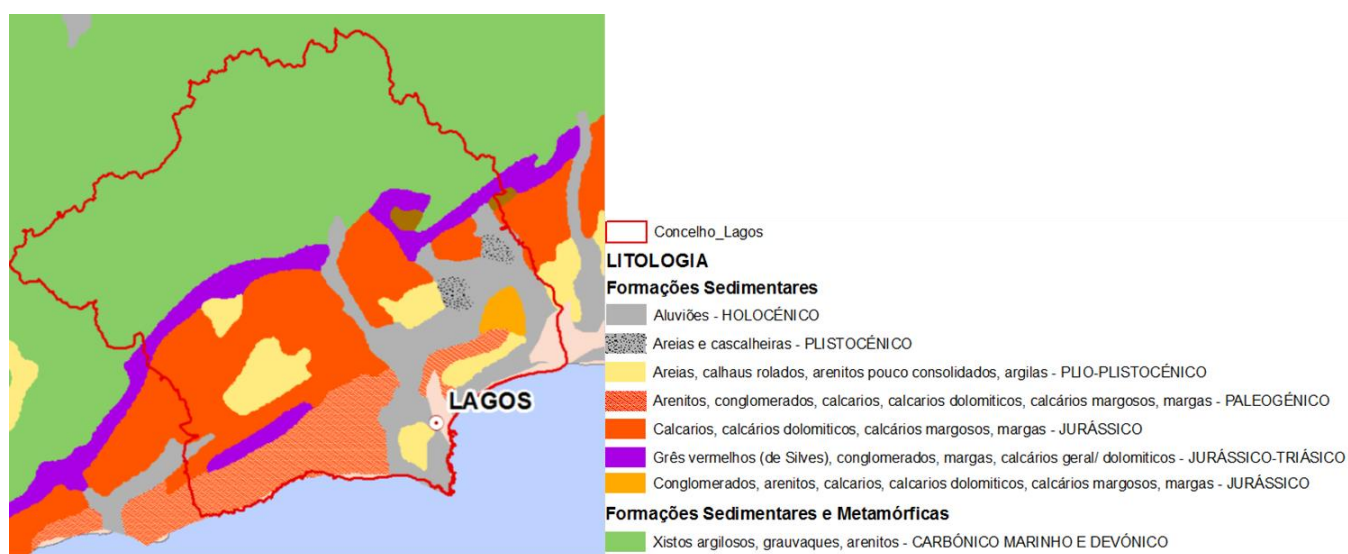


**Figura 7 – Mapa de enquadramento geográfico do Concelho de Lagos (Limites Administrativos e Rede Hidrográfica)**

Em termos geológicos o território de Portugal continental pode ser dividido em três grandes unidades geológicas: o Maciço Hespérico, as Orlas Meso-Cenozóicas (ocidental e meridional) e as Bacias Cenozóicas do Tejo e do Sado. O concelho de Lagos insere-se na Orla Algarvia, pertencente à Orla Meso-Cenozóica meridional.

A “Formação da Brejeira” do Carbónico superior (Vestafaliano) encontra-se na base da sequência de unidades da área em estudo. É essencialmente constituída por turbiditos (xistos e grauvaques) com intercalações de conglomerados e faixa com quartzovaques e quartzitos. Esta formação aflora na região norte da área em estudo. A fronteira do barrocal é feita pelo afloramento dos “Arenitos de Silves” ou “Grês vermelhos de Silves” do Triásico superior que assentam sobre o complexo turbidítico da “Formação da Brejeira”, constituído essencialmente por arenitos de cor vermelha que alternam com conglomerados grosseiros da mesma cor.

O Jurássico e o Cretássico encontram-se representados essencialmente por intercalações de dolomitos, calcários dolomíticos, margas e calcáriosossilíferos, que afloram por toda a região a sul da fronteira do barrocal. No topo da sequência de unidades litoestratigráficas encontra-se a “Formação carbonatada de Lagos – Portimão e depósitos de Aljezur” do Miocénico (Aquitano – Langhiano), seguido de formações quaternárias como as “Areias e Cascalheiras de Faro – Quarteira” do Plistocénico, e aluviões recentes do Holocénico, que afloram em toda a zona litoral da área em estudo. Os aluviões que acompanham o percurso do rio são essencialmente depósitos fluviais constituídos por calhaus, areias, limos e argilas.



**Figura 8 – Enquadramento litológico da área de estudo (Carta Litológica - Unidades litológicas 1:1.000.000)**

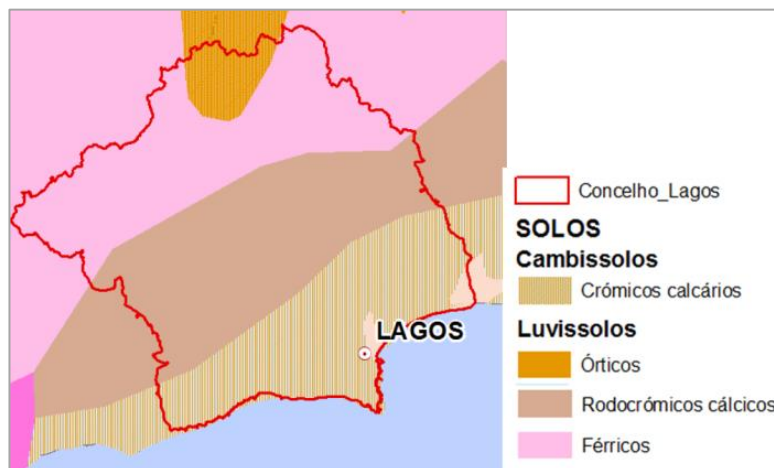
Fonte de dados vectoriais: Atlas do Ambiente – Agencia Portuguesa do Ambiente

Em concreto, a cidade de Lagos está edificada sobre depósitos Plistocénicos e Holocénicos de aluviões, areias e arenitos pouco consolidados que se tornam sensíveis ou susceptíveis a liquefação. Este é um fenómeno temido pelos efeitos destrutivos (principalmente em situações de sismo e tsunami), tais como assentamentos que conduzem ao colapso de edifícios, infraestruturas, pontes, rotura de barragens de aterro, entre muitos outros (Abreu, 2012).

Quanto ao tipo de solos distinguem-se duas grandes classes no concelho de Lagos (figura 9), os Luvisolos e os Cambissolos. Os Luvisolos são solos que possuem um maior teor de argila no subsolo do que na superfície do solo como resultado de processos pedogenéticos (principalmente a migração de argila).

Ocupam uma posição a norte na serra estendendo-se para sul pelo barrocal até sensivelmente ao limite superior da faixa litoral.

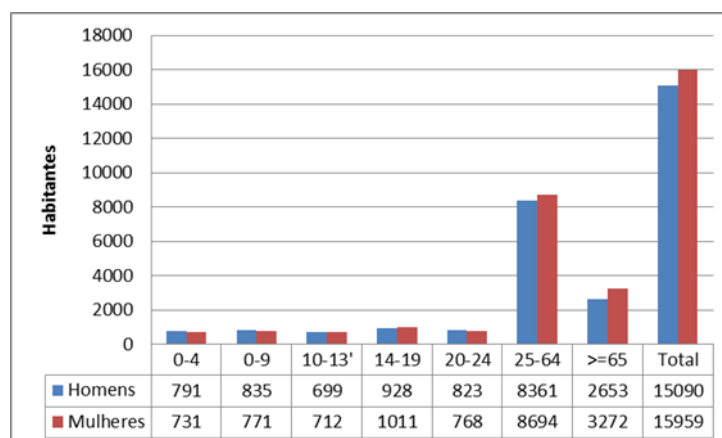
Os Cambissolos caracterizam-se de uma maneira geral, por serem jovens, moderadamente desenvolvidos sobre rocha parental pouco meteorizada (Ferreira, 2012), neste caso o calcário. Toda a faixa costeira do concelho possui deste tipo de solos.



**Figura 9 – Enquadramento pedológico da área de estudo (Unidades Pedológicas (Segundo o esquema da FAO para a Carta dos Solos da Europa) 1:1.000.000).**

Fonte de dados vectoriais: Atlas do Ambiente – Agência Portuguesa do Ambiente.

Com base na informação dos Censos 2011 pode-se caracterizar alguns aspectos da estrutura sócio-económica do Concelho de Lagos. Trata-se de um concelho onde a população residente é predominantemente adulta em idade activa existindo porém, uma percentagem significativa de população mais envelhecida acima dos 65 anos (Gráfico 1).



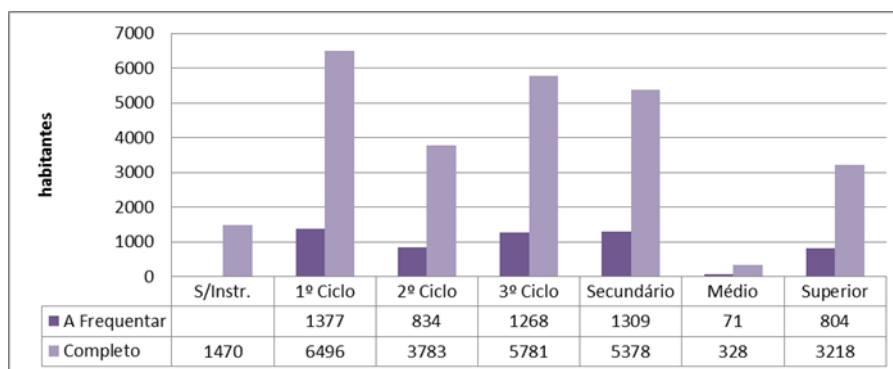
**Gráfico 1 – Faixa etária da população residente.**

No que diz respeito à composição das famílias clássicas verifica-se uma predominância de famílias compostas por um ou dois indivíduos. Comparando com o gráfico anterior, constata-se que poderá dever-se à baixa natalidade e consequente envelhecimento da população.



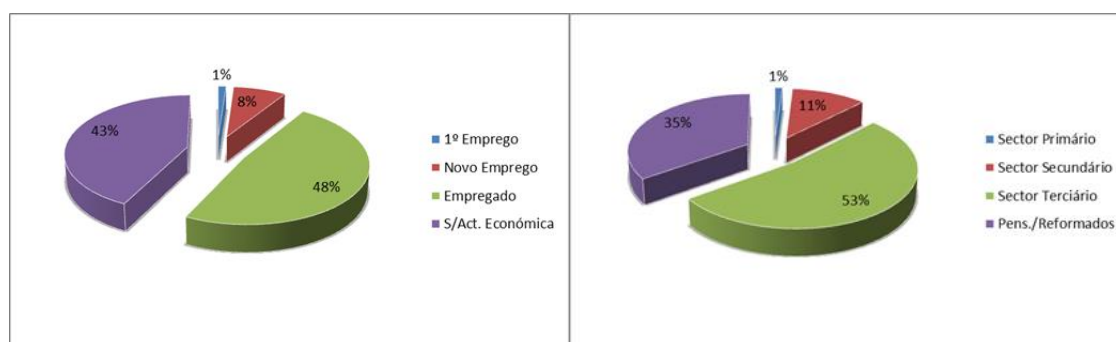
**Gráfico 2 – Composição das famílias clássicas**

O nível de instrução da população residente reflecte por sua vez a realidade da demografia etária referida anteriormente, acompanhando os períodos dos diferentes níveis de escolaridade mínima obrigatória (até 1966 - 4ºano, 1967 – 6º ano, LBSE (Lei de Bases do Sistema Educativo) 1973 – 8º ano, LBSE de 1986 - 9º ano, Decreto-Lei n.º 176/2012 – 12ºano). Apesar de aproximadamente 5% da população não saber ler nem escrever, 35% da população já frequentou o ensino secundário ou superior.



**Gráfico 3 - Nível de instrução da população residente.**

Relativamente ao emprego (Gráfico 4), pode-se constatar que a maioria da população residente em 2011 não exercia qualquer actividade económica, os pensionistas e reformados constituem 35% e o nível de desemprego (oficial) era de 9%. O sector de actividade que mais população emprega é o sector do comércio e serviços, como no resto da região do Algarve ocorreu uma forte terciarização da população nas últimas décadas com o abandono das actividades produtivas e a aposta no turismo.



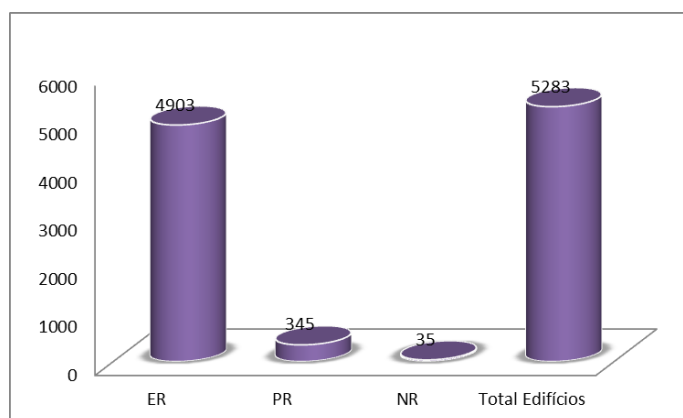
**Gráficos 4 e 5 – Emprego e Sectores de actividade.**

A área de estudo, seleccionada para este trabalho não se restringe somente ao centro histórico da cidade de Lagos, mas abrange também as faixas litorais (Baía de Lagos) das antigas freguesias de São Sebastião e Santa Maria, actual União das freguesias de Lagos até à Meia Praia (figura 10). Esta escolha deve-se ao âmbito do estudo, não só da vulnerabilidade mas também da evacuação, o que implica a acção sobre uma área afectada pelo perigo de tsunami assim como o conhecimento das outras adjacentes que sejam seguras e apropriadas (ou não) para a evacuação.



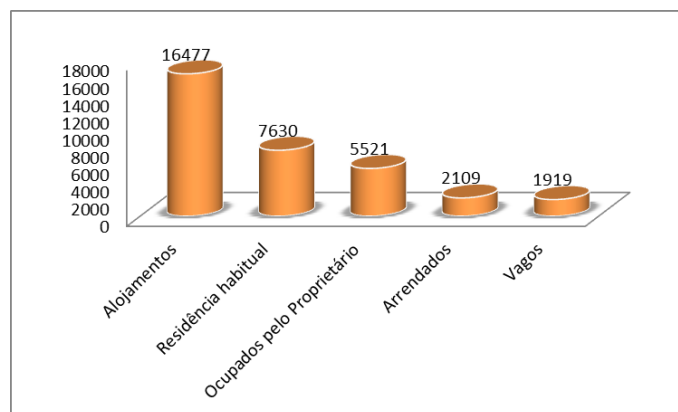
**Figura 10 – Mapa de enquadramento da área de estudo.**

O parque edificado da área de estudo é composto por 5283 edifícios no total. Quanto ao tipo de ocupação (Gráfico 6) 4903 dos edifícios são exclusivamente residenciais (ER), 345 são principalmente residenciais (PR) e 35 são não residenciais (NR).



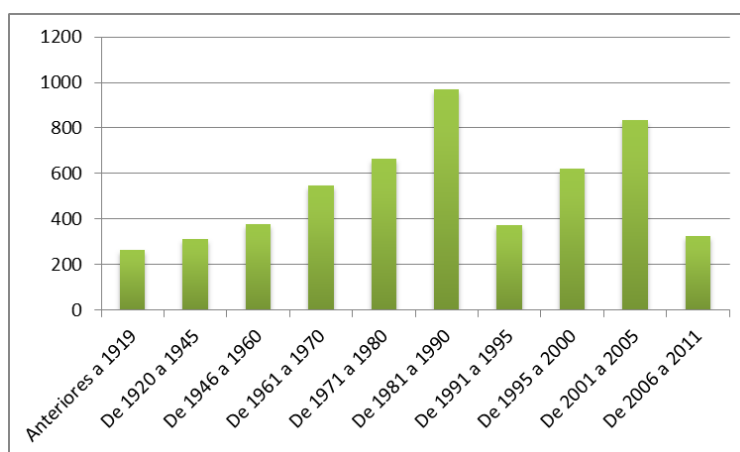
**Gráfico 6 – Tipo de ocupação do edificado da área de estudo.**

No que diz respeito ao alojamento (parque habitacional) correspondente a 16477 fogos, verifica-se que apenas 7630 são residências habituais. Dentro destas prevalecem as que são ocupadas pelo proprietário sobre os alojamentos arrendados.



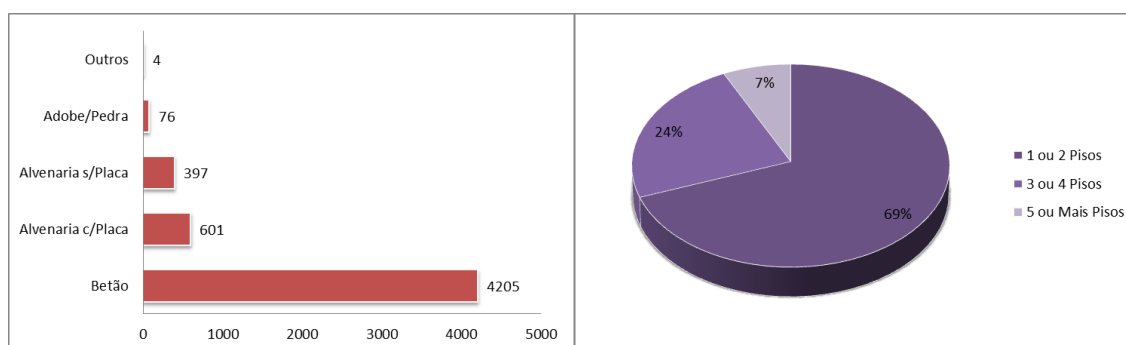
**Gráfico 7 – Tipos de Alojamento.**

Na área de estudo destacam-se dois períodos construtivos dominantes (Gráfico 8), que correspondem a quase 60% do total de edifícios, são eles 1971-1990 e 1995-2005. Cerca de 18% dos edifícios têm mais de 50 anos e apenas 6% foram construídos na última década.



**Gráfico 8 – Épocas de construção do edificado.**

No que respeita ao material de construção, a esmagadora maioria dos edifícios têm uma estrutura em betão armado (construções mais recentes), enquanto que os construídos em alvenaria (argamassa) correspondem a 7% dos edifícios. Em termos de número de pisos o mais comum são construções com um ou dois pisos, o que poderá contribuir para a vulnerabilidade a tsunami e dificultar a evacuação vertical.



**Gráfico 9 e 10 – Material de construção e número de pisos.**



“O município de Lagos possui o 4º parque habitacional mais recente da Região do Algarve (2/3 dos alojamentos existentes têm menos de 20 anos), factor que o coloca no 14º lugar em proporção de edifícios a necessitarem de reparações e no 5º lugar em termos de menor número de alojamentos precários, indiciando a existência de boas condições de habitabilidade e qualidade urbanística.” in PEL - PLANO ESTRATÉGICO DO MUNICÍPIO DE LAGOS (2005).



**Figura 11 – Ruas típicas do Centro histórico de Lagos.** *Fonte: Google Maps*

Na figura 11 pode-se observar o tipo de construção do centro histórico, alvenaria e betão com um ou dois pisos e o seu estado de conservação assim como a morfologia das ruas, geralmente estreitas, em que as vias de acesso pedonal são pavimentadas em paralelepípedos de granito e as vias de acesso automóvel são geralmente asfaltadas com passeios calcetado.

### 3.2 Conceptualização do modelo de vulnerabilidade e de evacuação

A modelação conceptual no contexto dos SIG traduz-se no conjunto de conceitos que podem ser utilizados para descrever a estrutura e as operações de uma base de dados geográfica. A complexidade dos objectos e fenómenos geográficos obriga a que seja necessário construir uma abstracção do mundo real de modo a obter uma representação apropriada, simplificada e que vá de encontro aos objectivos da aplicação da base de dados.

Um factor que condiciona, orienta e facilita a conceptualização de um modelo geográfico, é a existência dos dados. Após a identificação e compreensão do problema a estudar, foi adequado o nível de abstracção aos dados disponíveis, ou seja, o nível máximo de decomposição da realidade possibilitado por estes. Para descrever a estrutura e conteúdo da base de dados geográfica foi necessário construir um diagrama de classes, contendo classes de objectos e as suas relações. Este diagrama foi desenhado segundo as regras do modelo OMT-G (*Object Modeling Technique for Geográfic Applications*) adaptado para abordar os conceitos e notação da *Unified Modeling Language* (UML) mas orientado para a inclusão das propriedades geométricas e topológicas da informação geográfica (Borges et al., 2011). As classes relacionais definidas no modelo podem ser do tipo convencional não espaciais ou de natureza espacial com georreferenciação.

Neste caso, do tipo não espacial, destacam-se as tabelas dos Censos 2011 disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), referentes à informação sobre a população e aos edifícios/alojamentos. As classes georreferenciadas são especializadas em classes do tipo Geo-Campo (conjunto de objectos/fenómenos distribuídos continuamente no espaço) e Geo-Objectos (Objectos geográficos particulares, individualizáveis, associados a elementos do mundo físico). Os dados que deram corpo às classes do tipo Geo-Campo foram grelhas de simulação de inundação por tsunamis desenvolvidas por investigadores do Instituto Dom Luíz (IDL-UL), enquanto que os dados de base para as classes Geo-Objecto foram extraídos da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) e das cartas em Modelo Numérico Topo-Cartográfico (MNTC) 1:2000 fornecidas pela Associação Municipal de Municípios do Algarve (AMAL). Basicamente as classes de geo-objectos em formato vectorial geradas na base de dados geográfica depois de ajustadas à área de estudo, acabaram por ser “povoadas” pelos atributos seleccionados das tabelas convencionais e valores das classes Geo-Campo. A materialização da base de dados geográfica a partir do modelo conceptual foi gerada em formato *file-geodatabase* da ESRI através da extensão ArcCatalog (Figura 12).

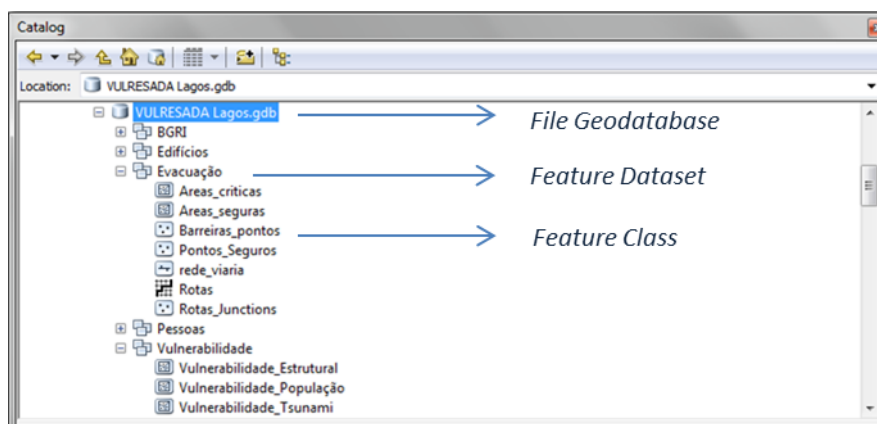


Figura 12 – Estrutura da base de dados geográfica na extensão ArcCatalog



A figura 13 mostra as tabelas do modelo conceptual e as suas relações após a principal sequência de operações. Por uma questão de simplicidade algumas classes não apresentam todos os seus campos, ou atributos nomeadamente os herdados das agregações. O diagrama de classes e transformações subdivide-se em cinco grandes grupos referentes a cada uma das fases do projecto (Bases de dados, modelos de inundação tsunami, vulnerabilidade edifícios, vulnerabilidade população, modelação da evacuação, que correspondem aos *feature datasets* do desenho físico da figura 12.

O primeiro grupo (Bases de dados) corresponde à operação de agregação entre a tabela de dados censitários com a base cartográfica (CAOP) da área de estudo. Esta última, como já referido, alimenta todos os outros grupos de objectos e classes-filhas, não só com os atributos mas também com as propriedades geométricas. Por sua vez, todos os outros grupos de classes-objectos, após desenvolvidas todas as operações de classificação, extracção, selecção, etc, voltam a ser agregados à grande classe da Área de Estudo.

Todos os objectos reproduzidos nessas operações são identificados pela chave primária código BGRI nativo da classe mãe. As classes Geo-campo (grelhas de inundação em formato matricial) dispõem apenas de um valor de pixel, e são armazenadas externamente (em relação à *file geodatabase*). As classes deste grupo, só depois das transformações para formato vectorial, passam a integrar a base de dados e a ser identificadas pela chave primária.

A opção de se realizar todas as operações de transformação externamente à classe Área de Estudo, foi tomada não só para preservar a integridade geométrica e de atributos, como também tem o objectivo de facilitar na fase de mapeamento (visualização) de cada fase do projecto. A descrição dos atributos e operações serão desenvolvidas em pormenor nos pontos seguintes deste capítulo.

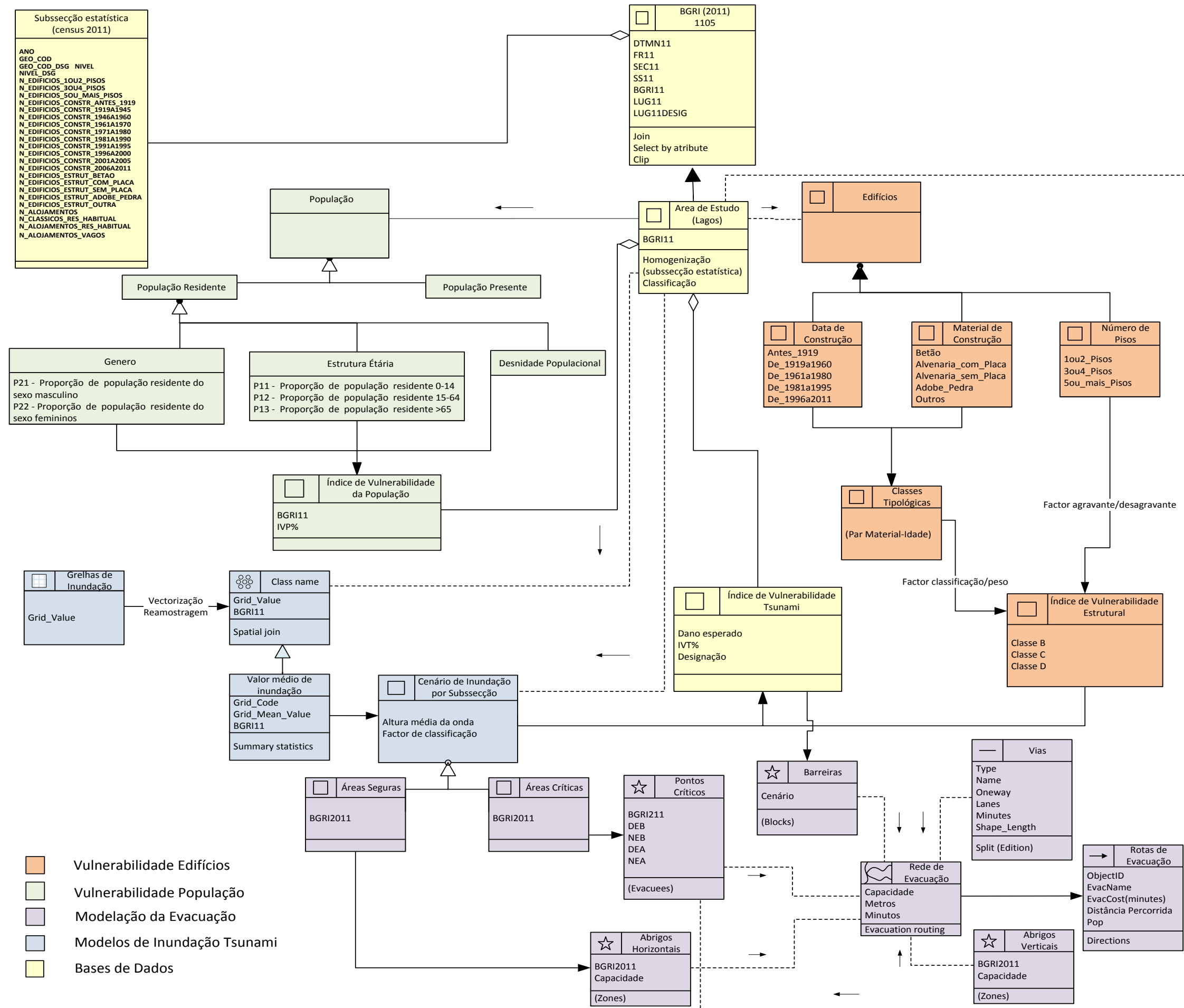


Figura 13 – Diagrama de Classes e transformação (Modelo de Dados OMT-G da Base de dados geográficos)

### 3.3 Vulnerabilidade Estrutural do Edificado

A estimação de um índice de vulnerabilidade referente ao edificado (parque habitacional) teve por base a adaptação da metodologia RISK-UE adoptada em Omira (2010) para a vulnerabilidade sísmica das estruturas, combinada com a metodologia BTV (*building tsunami vulnerability*) que já introduz na estimação dados de modelos de inundação.

Esta metodologia desenvolveu-se em quatro etapas, na primeira fase efectuou-se a classificação tipológica do edificado, na segunda fase fez-se a caracterização das classes tipológicas segundo um índice de vulnerabilidade estrutural, na terceira fase (ponto 3.5) realizou-se a integração dos valores de altura de onda das áreas inundadas e por fim fez-se a estimação do modelo de vulnerabilidade a tsunami (ponto 3.5).

#### 3.3.1 Classificação Tipológica do Edificado

Tomando por base os indicadores estatísticos presentes na base de dados CENSOS 2011 relativos ao edificado, foram considerados como relevantes para a associação à classificação tipológica EMS98 os parâmetros material de construção, a época de construção e o número de pisos. O maior nível de desagregação possível destes dados é a subsecção estatística, o qual foi adoptado como unidade territorial de trabalho numa primeira fase. Como base cartográfica foi utilizada a carta administrativa oficial de Portugal (CAOP) na sua versão actual de 2013 (DGOT, 2013). Os dados dos Censos 2011 foram agregados à CAOP pelo código da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) do INE, comum às duas bases de dados.

Os atributos dos Censos contabilizam o número de edifícios de cada subsecção estatística. Para que estes fossem classificados segundo os parâmetros acima referidos, foram calculadas as percentagens de cada atributo relativamente ao total de edifícios da subsecção. A atribuição de determinada classe a cada área estatística obedeceu ao critério maioritário (percentagem superior a 55%), contudo nem todas as subsecções respeitaram esta condição em relação a um ou mais parâmetros de classificação sendo definidas como heterogéneas (cerca de 22%). Estas áreas heterogéneas foram então posteriormente “homogeneizadas” uma a uma, reduzindo primeiro o critério maioritário para >50% e no caso de permanecerem heterogéneas, considerando o atributo predominante de cada parâmetro e a classificação das áreas da vizinhança.

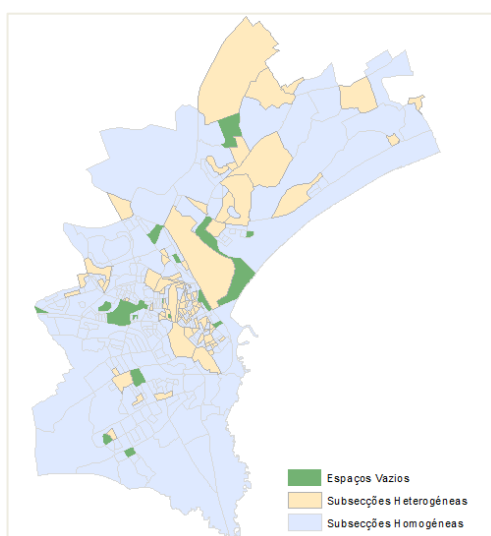
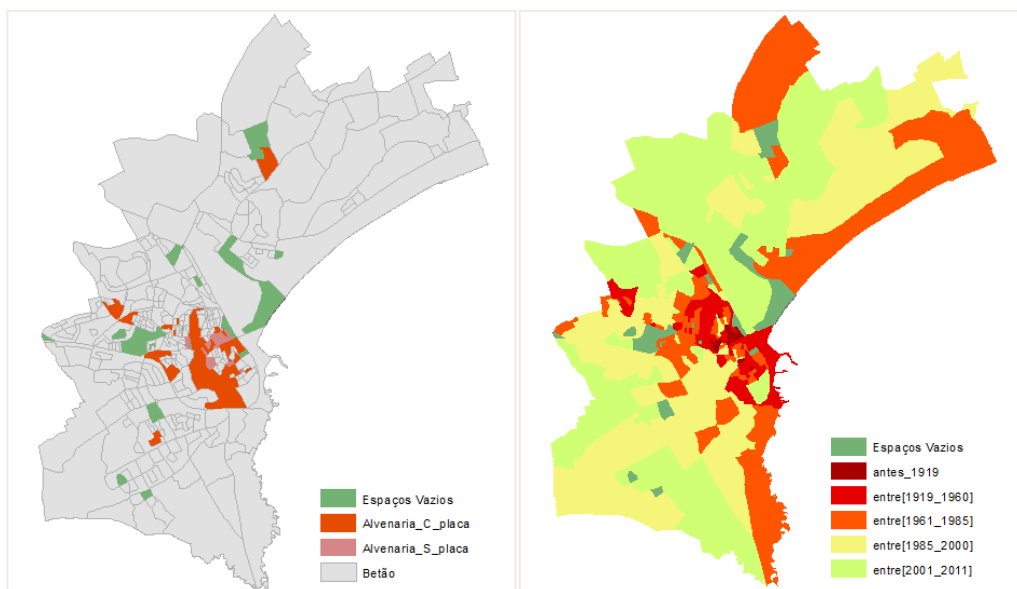
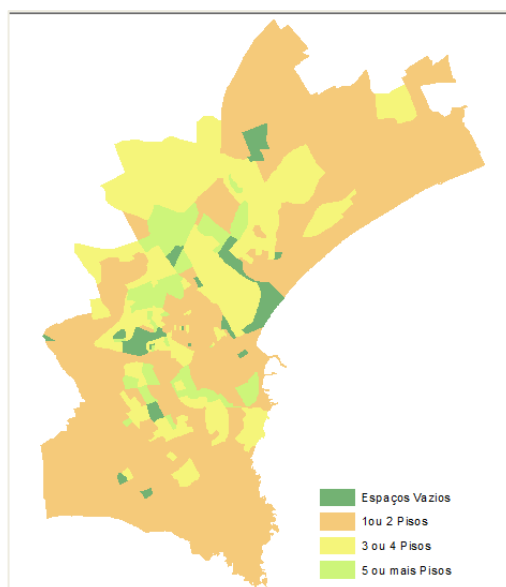


Figura 14 – Subsecções estatísticas homogéneas e heterogéneas.

O parâmetro material de construção foi dividido em três classes maioritárias, alvenaria com placa, alvenaria sem placa e betão. A percentagem de edifícios de taipas/adobe e de outros materiais foi sempre residual ou inexistente em praticamente todas as subsecções, por essa razão não constituíram classe. A época de construção foi agregada em 5 classes (antes de 1919; 1919-1960; 1961-1985; 1986-2000; 2001-2011). O número de pisos foi classificado segundo os atributos nativos da base de dados dos Censos 2011 sendo estes um ou dois pisos, três ou quatro pisos e cinco ou mais pisos.



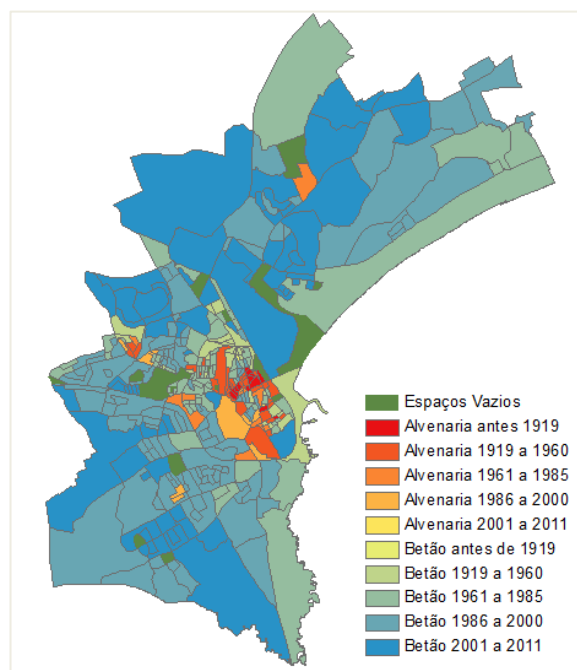
**Figura 15 – Mapas do edificado classificado de acordo o material de construção (Esquerda) e época de construção (direita).**



**Figura 16 – Mapa da classificação tipológica do edificado de acordo com o número de pisos**

Numa apreciação preliminar por observação da distribuição destes parâmetros de classificação, pode identificar-se um “Cluster” (não foi avaliada a auto-correlação espacial dos atributos) de edifícios potencialmente mais vulneráveis no centro histórico da cidade de Lagos, pela concentração das alvenarias, de idade mais avançada e com um ou dois pisos.

Como referido em Barreira et al., (2010), a classificação que melhor se adequa para a aplicação do método RISK-UE baseia-se no par material de construção-idade, enquanto o número de pisos deve ser considerado como factor de agravamento ou desagravamento do índice de vulnerabilidade. Seguindo este pressuposto resultaram 10 classes tipológicas, divididas em alvenaria (agregaram-se as classes de alvenaria com e sem placa, por estas últimas serem maioritárias em pequenas subsecções adjacentes às com placa) e betão para cada uma das classes de época de construção. Obteve-se assim a distribuição espacial para a área de estudo da classificação tipológica final, representada na figura 17.






**Figura 17 – Mapa da classificação tipológica do edificado por material-idade**

### 3.3.2 Índice de vulnerabilidade do Edificado

A escala EMS-98 descreve linguisticamente os diferentes graus de pertença de determinada tipologia em relação a uma classe de vulnerabilidade (tabela 4): Classe mais provável; Classe eventual; Classe improvável. Para a interpretação quantitativa destes termos linguísticos em Giovinazzi e Lagomarsino, (2004), assumindo uma distribuição beta para os danos e é aplicada a teoria dos conjuntos difusos (*Fuzzy Set Theory*) que discrimina esses limiares de vulnerabilidade de cada tipologia (tabela 5). A partir desses limiares numéricos pode ser calculado um índice de vulnerabilidade empírico (equação 4) que representa a correspondência a uma determinada tipologia construtiva dentro de uma classe de decrescente vulnerabilidade (de A a F).

**Tabela 4 - Correlação entre classes de vulnerabilidade e tipologia segundo EMS-98**

Tipologias		Tipo de Edifício	Classes de Vulnerabilidade					
			A	B	C	D	E	F
Alvenaria	<b>M1</b>	Alvenaria de pedra irregular e solta						
	<b>M2</b>	Adobe						
	<b>M3</b>	Alvenaria de pedra (aparelhada)						
	<b>M4</b>	Alvenaria de pedra aparelhada (silhares)						
	<b>M5</b>	Alvenaria de blocos de betão ou tijolo (não reforçada)						
	<b>M6</b>	Alvenaria com pavimentos em betão armado						
	<b>M7</b>	Alvenaria reforçada/Alvenaria confinada						
Betão	<b>RC1</b>	Estrutura porticada em betão armado sem CSR ou com CSR mínimo						
	<b>RC2</b>	Estrutura porticada em betão armado com CSR moderado						
	<b>RC3</b>	Estrutura porticada em betão armado sem CSR elevado						
	<b>RC4</b>	Estrutura de paredes em betão sem CSR ou com CSR mínimo						
	<b>RC5</b>	Estrutura de paredes em betão com CSR moderado						
	<b>RC6</b>	Estrutura de paredes em betão com CSR elevado						
Metálica	<b>S</b>	Estrutura metálica						
Madeira	<b>W</b>	Estrutura de Madeira						
CSR – concepção sismo-resistente								

 Classe mais provável
  Classe eventual ou menos provável
  Classe improvável (casos excepcionais)

**Tabela 5 – Limiares numéricos do índice de vulnerabilidade de cada classe EMS-98**

Tipologias		Classes de Vulnerabilidade				
		$V_{I\ min}$	$V_I^-$	$V_I^*$	$V_I^+$	$V_{I\ max}$
Alvenaria	<b>M1</b>	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	<b>M2</b>	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	<b>M3</b>	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	<b>M4</b>	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	<b>M5</b>	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	<b>M6</b>	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	<b>M7</b>	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
Betão	<b>RC1</b>	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	<b>RC2</b>	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	<b>RC3</b>	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	<b>RC4</b>	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	<b>RC5</b>	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	<b>RC6</b>	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Metálica	<b>S</b>	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Madeira	<b>W</b>	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

O índice de vulnerabilidade  $\bar{V}_I$  é então dado pela expressão:

$$\text{Equação 4 - } \bar{V}_I = V_I^* + \Delta V_R + \Delta V_m$$

Onde  $V_I^*$  é o valor médio do índice tipológico de vulnerabilidade;  $\Delta V_R$  é o factor regional de vulnerabilidade (foi considerado 0,08) e  $\Delta V_m$  são o conjunto de factores de agravamento e desagravamento.

Como não foi realizado um levantamento de campo das características dos edifícios para poder identificar em concreto as classes EMS-98 presentes na área de estudo, utilizaram-se para o efeito os valores médios do índice das classe (par material-idade) calculados para Lisboa (Barreira et al., 2010). Por nesse estudo existirem apenas 8 classes, nem todas as classes tipológicas estabelecem correspondência directa, aplicou-se nesses casos específicos (Alvenaria85-00, Alvenaria01-11, Betão<1919, Betão85-00 e Betão01-11) um factor de desagravamento referente ao estado de conservação de -0,04 em relação à classe anterior (excepto para a classe Betão<1919 à qual foi aplicado um factor de agravamento de 0,04).

As classes de número de pisos, como já referido, constituíram também um factor de modificação de comportamento (agravamento/desagravamento) aos quais foram atribuídos os seguintes valores da tabela 6.

**Tabela 6 - Factor de modificação de comportamento (agravamento/desagravamento) para classes de número de pisos.**

	<b>Alvenaria</b>	<b>Betão</b>
<b>1 ou 2 pisos</b>	-0,04	-0,02
<b>3 ou 4 Pisos</b>	0	0
<b>5 ou mais Pisos</b>	0,04	0,02

Foram então utilizados os seguintes valores de índice de vulnerabilidade médio para calcular  $\bar{V}_i$  de cada classe tipológica.

**Tabela 7 - Valores médios dos índices de vulnerabilidade para as tipologias de Alvenaria e Betão**  
adaptado de Barreira et al., (2010)

<b>Classe Tipológica</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Médio</b>	<b>Máximo</b>
<b>Alv&lt;1919</b>	0.531	0.773	1.016
<b>Alv19_60</b>	0.491	0.745	1.056
<b>Alv61_85</b>	0.491	0.700	0.956
<b>Alv85_00</b>	0.447	0.630	0.832
<b>Alv01_11</b>	-	0.616	-
<b>Bet&lt;1919</b>	-	0.685	-
<b>Bet19_60</b>	0.522	0.681	0.742
<b>Bet61_85</b>	0.482	0.644	0.752
<b>Bet85_00</b>	0.458	0.551	0.658
<b>Bet01_11</b>	0.426	0.529	0.722

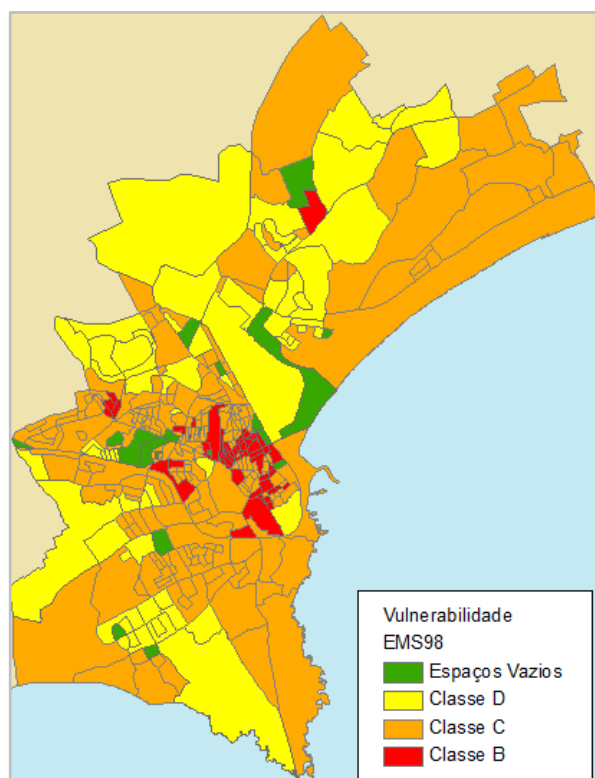
Após o cálculo de  $\bar{V}_i$  fez-se corresponder o resultado de cada subsecção estatística uma classe de vulnerabilidade EMS-98 segundo os seguintes limiares tabelados em Giovinazzi e Lagomarsino (2004). O dano esperado não foi estimado nesta fase do trabalho pois será posteriormente associado ao índice de vulnerabilidade a tsunami do edificado que envolve já cenários de inundação.

**Tabela 8 – Valores para o índice de vulnerabilidade para diferentes classes de vulnerabilidade.**

[Fonte: Giovinazzi & Lagomarsino, 2004]

	$V_{I \min}$	$V_I^-$	$V_I^*$	$V_I^+$	$V_{I \max}$
<b>A</b>	0,78	0,86	0,90	0,94	1,02
<b>B</b>	0,62	0,70	0,74	0,78	0,86
<b>C</b>	0,46	0,54	0,58	0,62	0,70

	$V_{I \min}$	$V_I^-$	$V_I^*$	$V_I^+$	$V_{I \max}$
<b>D</b>	0,30	0,38	0,42	0,46	0,54
<b>E</b>	0,14	0,22	0,26	0,30	0,38
<b>F</b>	-1,02	0,06	0,10	0,14	0,22



**Figura 18 – Mapa de classificação da vulnerabilidade estrutural do edificado**

### 3.3.3 Modelos de inundação Tsunami

#### a) Escolha dos cenários

Das regiões tsunamigénicas já anteriormente referidas foram seleccionadas três como sendo suficientemente próximas e potencialmente geradoras de risco. Segundo o estudo publicado por Omira et al (2009a) é claramente demonstrado que a Zona Ferradura – Marquês de Pombal (HSMP), a Zona do Banco de Portimão (PBF) e a Zona do Prisma Acrecionário do Golfo de Cadiz (CWF) são as regiões com características mais favoráveis à geração de tsunamis de impacto significativo em Lagos.

A zona HSMP é considerada uma fonte compósita das duas falhas por terem uma continuidade geométrica e segundo Ribeiro et al. (2006) é a proposta melhor aceite como sendo a origem do evento de 1755, e que nas mesmas condições, pode ser encarado como o pior cenário tendo segundo Rio et al. (2003) um período de retorno de pouco mais de 1200 anos. As duas outras fontes são interessantes para este trabalho tendo em conta a proximidade e consequente reduzido tempo de viagem da primeira onda. A zona CWF foi também escolhida por fornecer um cenário de menor risco. Foram então considerados os cenários extremos para cada uma dessas zonas especificados na Tabela 9.



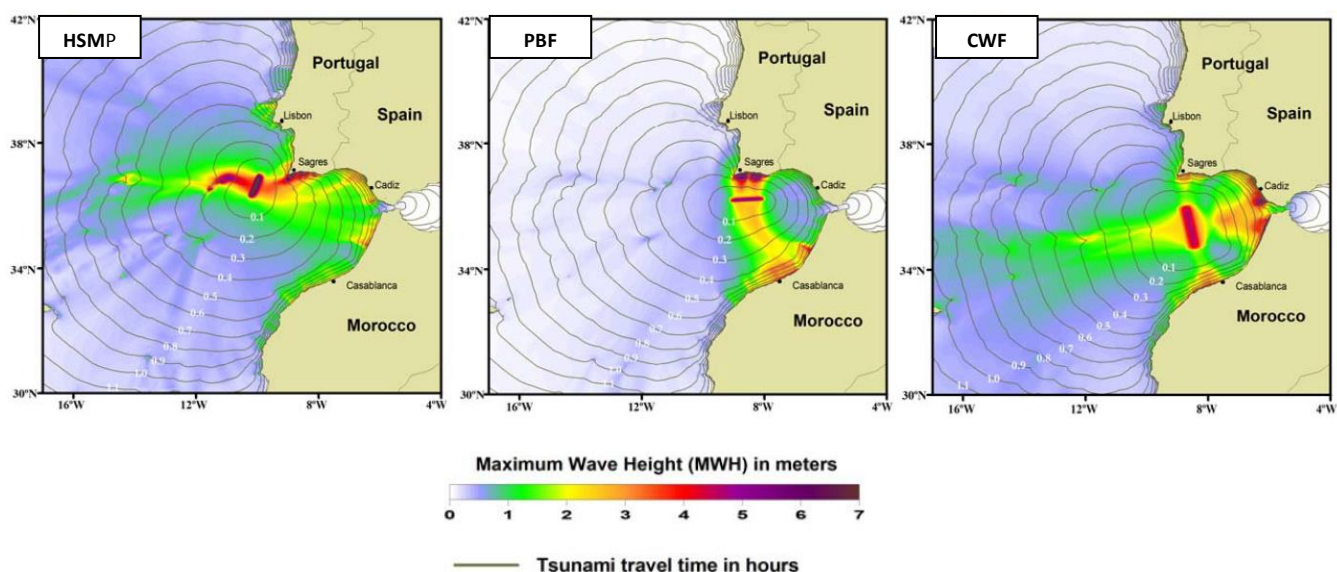


Figura 19 – Padrões de dispersão de ondas de tsunami computados considerando as fontes tsunamigénicas HSMP, PBF e CWF. Fonte: Omira et al., (2009a)

Tabela 9 - Parâmetros de falha dos cenários tsunamigénicos. L: comprimento da falha; W: largura da falha; D: Profundidade do fundo do mar ao topo da falha em quilómetros;  $\mu$ : módulo de cisalhamento; Mw: Magnitude.

Falha	Cenário	Parâmetros								
		L (Km)	W (Km)	Dip (°)	Strike (°)	Rake(°)	Depth (Km)	$\mu$ (e+10Pa)	Slip (m)	Mw
Ferradura Marquês de Pombal	HSMP2	120	80	35	20.1	90	5.0	4.5	12.0	8.75
Banco de Portimão	PBF2	115	60	24	266.3	90	5.0	4.5	9.5	8.25
PAGC	CWF4	170	200	5.0	349	90	5.0	3.0	16	8.75

#### b) Modelos numéricos

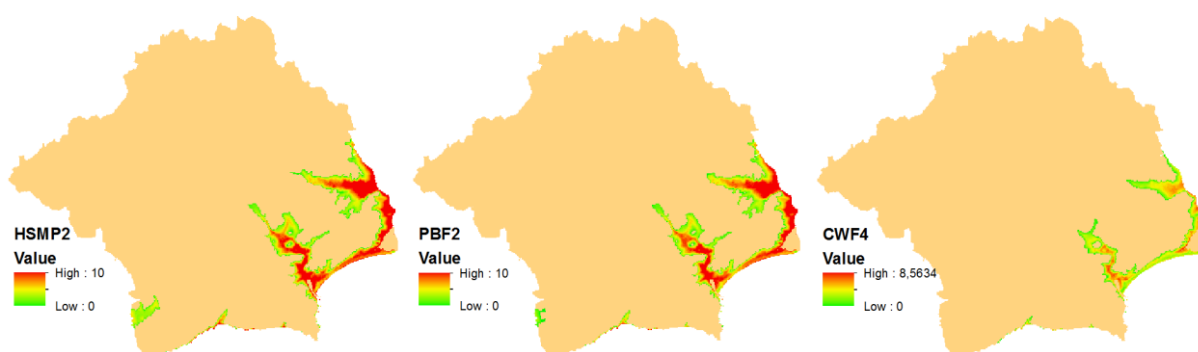
As grelhas de inundação utilizadas neste trabalho foram geradas utilizando o modelo COMCOT-Lx (Cornell Multigrid Coupled Tsunami Model) (Omira et al., 2009; 2010; 2011) que inclui a resolução das equações da hidrodinâmica nomeadamente a NLSW (*Non Linear Shallow Water*) e os cálculos do *run-up* (espraiamento), do *run-in* (máxima distância de inundação), da área inundada e velocidades do fluxo em terra. Estas simulações necessitaram de modelos topobatimétricos de alta resolução (10m) mas as grelhas resultantes foram sujeitas a uma generalização para uma resolução de 50m.

O pré-processamento aplicado a estas grelhas que abrangem toda a região do Algarve consistiu na atribuição do sistema de coordenadas ETRS – 1989 TM06-Portugal (DGT, 2013) definido para todo o projecto e pela aplicação de uma máscara correspondente ao limite administrativo do concelho de Lagos.



**Figura 20 - Área potencialmente inundável em Lagos (superfície gerada a partir do run-in máximo dos 3 cenários de inundação). Fonte imagens de base: Esri**

Na figura 21 pode-se observar a altura máxima de onda de cada um dos cenários no concelho de Lagos, que atinge os 10m no caso do HSMP2 e do PBF2 enquanto em CWF4 apenas atinge 8m e com uma área inundada mais reduzida.



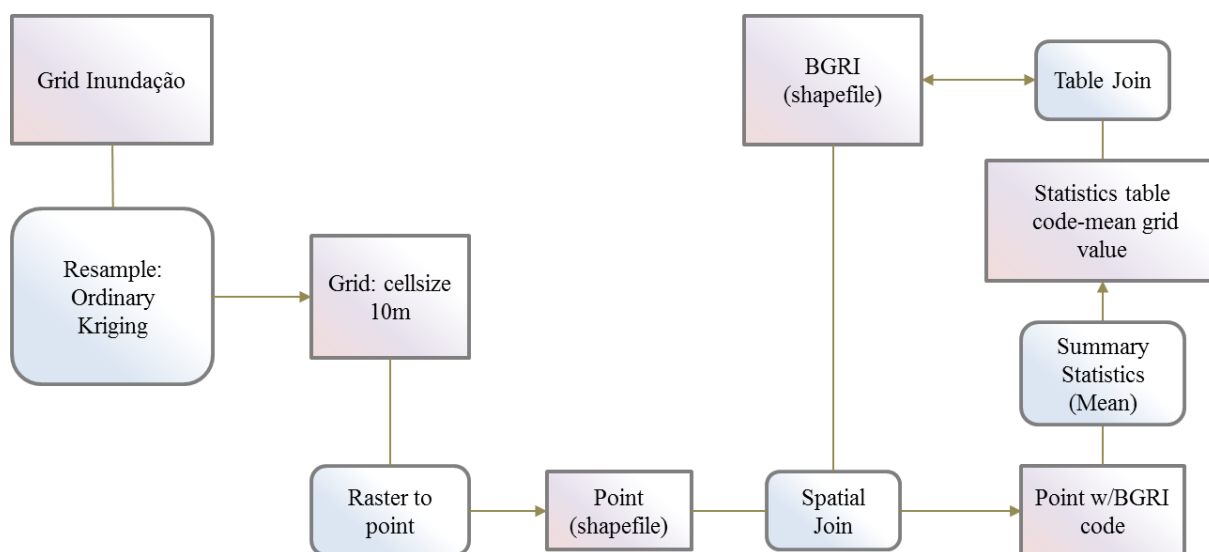
**Figura 21 – Grelhas de inundação (value - altura da onda em metros) dos cenários HSMP2, PBF2 e CWF4 para o concelho de Lagos.**

### c) Integração dos valores da inundação

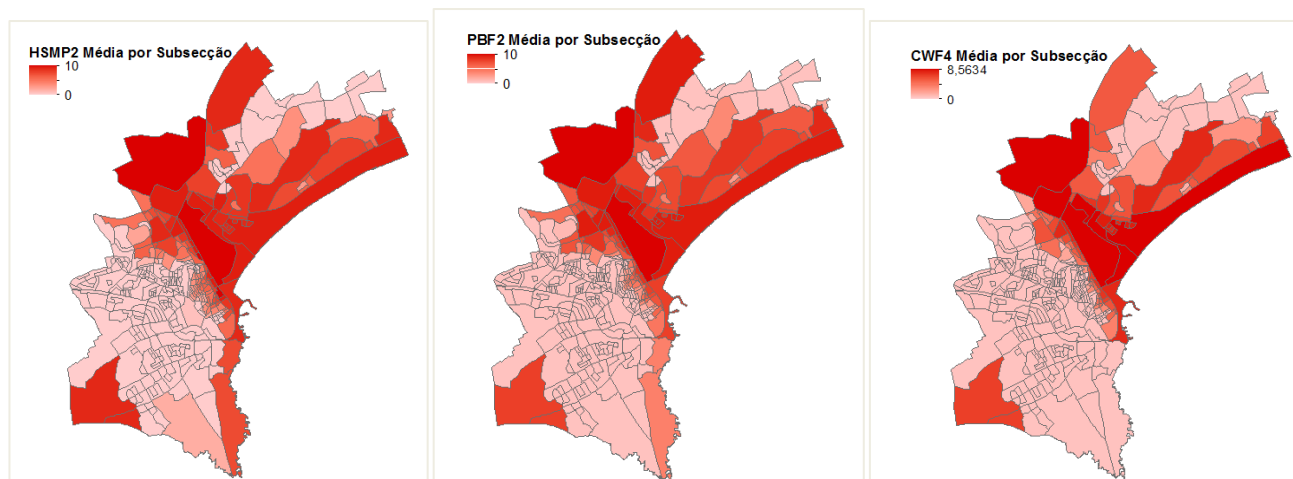
Para se poder integrar os valores de inundação na base de dados, desencadeou-se um processo de extracção e junção dos valores dos pixels das grelhas pela média em cada subsecção estatística da área de estudo (figura 22). A resolução espacial das grelhas de inundação foi convertida para 10m para que todas as subsecções estatísticas interceptassem pelo menos um ponto central de um pixel das grelhas. O método de interpolação seleccionado foi o Kriging Ordinário (método de regressão usado em geoestatística para aproximar ou interpolar dados), por apresentar o erro médio quadrático (RMS – raiz quadrada da média do erro ao quadrado) mais baixo após terem sido testados vários métodos (tabela 10).

**Tabela 10 - Tabela comparativa do RMS dos interpoladores testados.**

Método de interpolação	Tipo de Modelo	Grelhas de inundação		
		HSMP	PBF	CWF
<b>Kriging Ordinário (KO)</b>	Exponencial	<b>0,080302</b>	<b>0,076268</b>	<b>0,049411</b>
<b>Kriging Universal (KU)</b>	Exponencial	0,086303	0,076352	0,054503
<b>Inverse Distance Weighted (IDW)</b>	Raio móvel ( <i>power: 5</i> )	0,141956	0,126405	0,079405
<b>Radial Basis Function (RBF)</b>	Multiquadrático	0,122562	0,103775	0,069833
<b>Polinómio Local (PL)</b>	<i>power: 2</i>	0,112196	0,099832	0,063749



**Figura 22 – Modelo cartográfico do processo de integração dos valores de inundação na cartografia vectorial.**



**Figura 23 – Cartas de inundação por subsecção estatística para os cenários HSMP2, PBF2 e CWF4**

### 3.4 Vulnerabilidade da População

Com o objectivo de criar um índice de vulnerabilidade da população (IVP) a partir dos dados estatísticos presentes na base de dados Censos 2011, foi criado um modelo hierárquico estruturado em dois níveis de abstracção, adaptando a metodologia de Análise Multicritério desenvolvida em Martins (2010). O primeiro nível hierárquico designa os três critérios de vulnerabilidade como sendo a Estrutura Etária, o Género e a Densidade Populacional. O segundo nível desagrega cada um dos critérios em factores de vulnerabilidade normalizados e classificados.

No primeiro critério, a Estrutura Etária, a vulnerabilidade associada aos mais jovens e aos idosos decorre fundamentalmente de eventuais circunstâncias de menor agilidade física e, simultaneamente, da situação de potencial dependência em relação a outrem (Cutter et al., 2003). No segundo critério, a população do sexo feminino é considerada mais vulnerável por razões fisiológicas (maior fragilidade física) e quanto à sua condição sócioeconómica (salários mais baixos e situação no emprego menos estável). No critério densidade populacional (habitantes por hectare) considera-se que uma maior concentração populacional implica uma maior vulnerabilidade da população exposta por gerar dificuldades na resposta à emergência e por potenciar um número de vítimas mais elevado (mortos, feridos e desalojados).

Tendo por base estes pressupostos e, assumindo que estes factores não afectam a vulnerabilidade da mesma forma, atribuíram-se factores de ponderação ( $F_p$ ) por ordem de importância a cada um destes (tabela 10). Os factores de vulnerabilidade (P11, P12, P13, P21, P22) foram calculados a partir do número de habitantes em cada subsecção estatística pelo número total de habitantes (proporção da população residente). Posteriormente atribui-se um factor de classificação ( $F_c$ ) distribuído por quatro classes que indicam o nível de vulnerabilidade relativamente ao critério correspondente.

O índice de vulnerabilidade da população foi estimado pela média ponderada (Equação 5) dos três critérios tendo em conta os factores de ponderação e de classificação, integrados de forma dinâmica na equação. Da mesma forma estimaram-se os critérios P1 e P2 tendo em conta o segundo nível dos seus factores de vulnerabilidade. O IVP varia numa escala contínua entre 0 (vulnerabilidade reduzida) e 100% (toda a população residente é vulnerável).

**Tabela 11 – Factores de classificação e de ponderação considerados na estimação do IVP.**

Vulnerabilidade Da População					
1º Nível (critérios)	2º Nível (factores de vulnerabilidade)	Normalização	F <sub>c</sub>	F <sub>p</sub>	F <sub>p</sub> (IVP)
P1 - Estrutura Etária	P11 – Proporção de população residente 0-14	Crescente 0-100%	0-25 (1)	2	3
			25-50 (4)		
	P12 – Proporção de população residente 15-64	Decrescente 0-100%	0-25 (4)	1	
			25-50 (3)		
			50-75 (2)		
			75-100 (1)		
	P13 – Proporção de população residente ≥65	Crescente 0-100%	0-25 (1)	2	
			25-50 (2)		
			50-75 (3)		
			75-100 (4)		
P2 – Genero	P21 - Proporção de população residente do sexo masculino	Decrescente 0-100%	0-25 (4)	1	1
			25-50 (3)		
			50-75 (2)		
			75-100 (1)		
	P22 - Proporção de população residente do sexo femininos	Crescente 0-100%	0-25 (1)	2	
			25-50 (2)		
			50-75 (3)		
			75-100 (4)		
P3 - Densidade Populacional	-	Crescente 0-100%	-		2

**Equação 5** - Índice de vulnerabilidade da população:

$$IVP(\%) = \frac{(F_{c.P1} \times F_{p.P1}) + (F_{c.P2} \times F_{p.P2}) + (F_{c.P3} \times F_{p.P3})}{\sum_{k=1}^3 (F_{c.max} \times F_p)} \times 100$$

Em que k é o número do critério, F<sub>c.max</sub> corresponde ao valor máximo do factor de classificação.

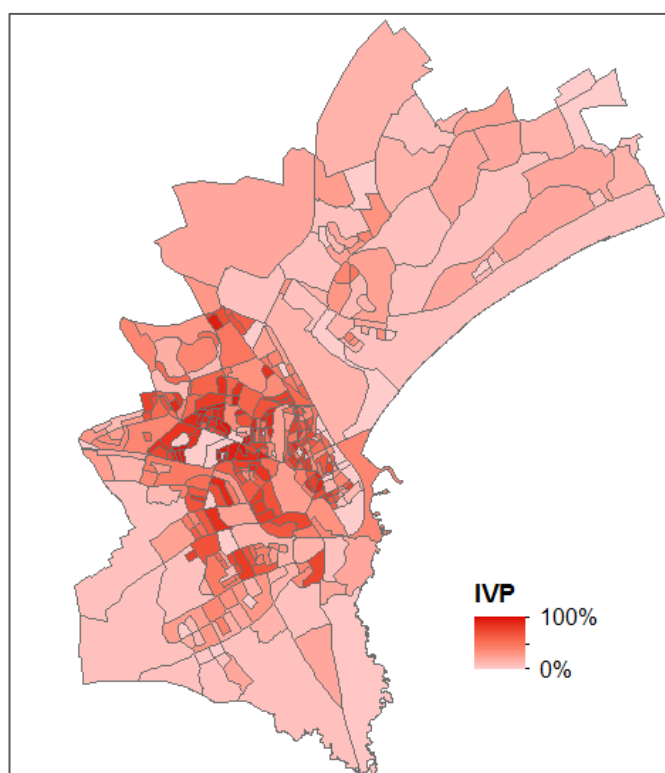
**Equação 6** - Vulnerabilidade do critério de 1º nível P1 (Estrutura Etária):

$$P1(\%) = \frac{(F_{c.P11} \times F_{p.P11}) + (F_{c.P12} \times F_{p.P12}) + (F_{c.P13} \times F_{p.P13})}{\sum_{k=1}^3 (F_{c.max} \times F_p)} \times 100$$

**Equação 7** - Vulnerabilidade do critério de 1º nível P2 (Género):

$$P2(\%) = \frac{(F_{c.P21} \times F_{p.P21}) + (F_{c.P22} \times F_{p.P22})}{\sum_{k=1}^2 (F_{c.max} \times F_p)} \times 100$$





**Figura 24 – Mapa de Índice de Vulnerabilidade da População (IVP)**

### 3.5 Índice de vulnerabilidade a tsunami do edificado

O índice de vulnerabilidade a tsunami do edificado foi gerado pela combinação das classes de vulnerabilidade EMS-98 com os valores médios de altura de onda por subsecção estatística dos três cenários de inundação por tsunami. A estimação deste índice seguiu a mesma metodologia de atribuição de pesos a classes e cálculo da média ponderada, utilizada no IVP.

**Equação 8 -**

$$IVTE(\%) = \frac{(F_{c,e} \times F_{p,e}) + (F_{c,i} \times F_{p,i})}{\sum_{k=1}^2 (F_{c,max} \times F_p)_k} \times 100$$

A vulnerabilidade estrutural do edificado já anteriormente classificada de acordo com a Escala Macrosísmica Europeia, distingue 3 classes (figura 5): Classe B (vulnerabilidade alta); Classe C (vulnerabilidade média); Classe D (vulnerabilidade média-baixa). A cada uma destas classes foi atribuído um factor de classificação ( $F_{c,e}$ ) consoante o grau de vulnerabilidade (B-3, C-2, D-1) e um factor de peso ( $F_{p,e}$ ) para todo o critério de 2. O segundo critério considerado na vulnerabilidade tsunami foram as áreas de inundação classificadas a partir dos valores de altura de onda em 4 classes para cada cenário (tabela ty). O factor de peso atribuído ao critério inundação ( $F_{p,i}$ ) foi 1. Pode-se justificar a atribuição de um peso menor que o atribuído à condição do edificado, por este ter maior influência que a altura da onda, que se relaciona mais com a localização, neste caso da subsecção estatística.

**Tabela 12 – Factor de classificação da altura média da onda para o três cenários de inundação.**

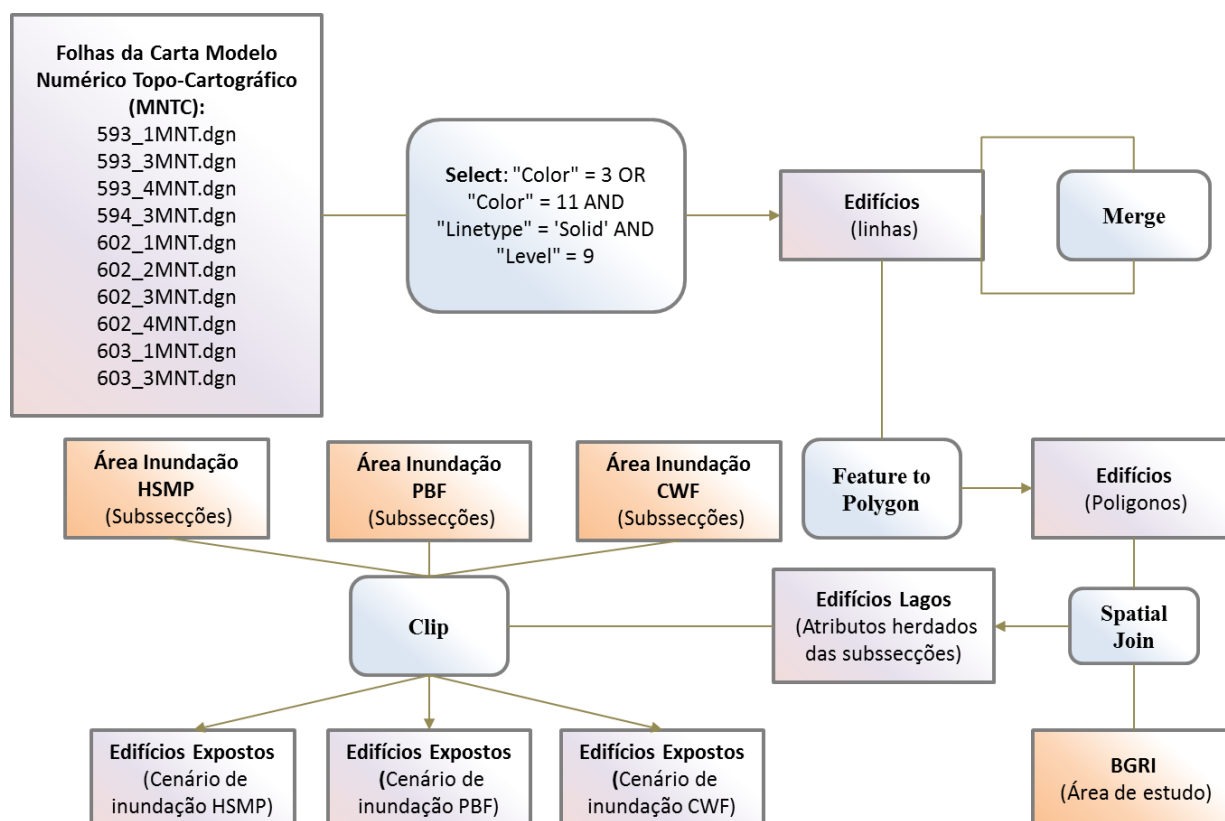
<b>Cenário de inundação</b>	<b>Altura média da onda (m)</b>	<b>Factor de classificação (F<sub>c.i</sub>)</b>
HSMP2	0-3	1
	3-6	2
	6-9	3
	9-11	4
PBF2	0-3	1
	3-6	2
	6-9	3
	9-10	4
CWF4	0-2	1
	2-4	2
	4-6	3
	6-8	4

Os valores de percentagem do IVTE calculados pela Equação 8 são associados a um grau de dano esperado para os edifícios da subsecção. Foram consideradas então cinco categorias de nível de dano variando de D0 (sem dano) a D4 (provável colapso). Cada categoria de dano é definida consoante um intervalo da vulnerabilidade estimada para dar uma ideia mais clara no que diz respeito aos limites de resistência mecânica dos edifícios contra inundação por tsunamis (Tabela 12).

**Tabela 13 – Designação e classificação dos graus de dano.**

<b>Categoria de dano esperado</b>	<b>IVTE</b>	<b>Designação</b>
<b>D0</b>	0-20%	Sem danos
<b>D1</b>	20-40%	Danos leves
<b>D2</b>	40-60%	Danos moderados
<b>D3</b>	60-80%	Danos severos
<b>D4</b>	80-100%	Provável colapso

Não existe vulnerabilidade se não existir exposição a um determinado tipo de perigo (Birkmann et al, 2011). Por conseguinte, para mapear a vulnerabilidade do edificado foram extraídos da carta topo-cartográfica os edifícios pertencentes às subsecções estatísticas afectadas por cada um dos cenários de inundação segundo o processo cartográfico esquematizado na figura 25. Desta forma os polígonos de edifícios ao herdarem os atributos das subsecções do tema principal do projecto (BGRI\_Lagos) puderam ser classificados segundo o dano esperado consoante a percentagem do IVTE.



**Figura 25 – Modelo Cartográfico da extracção dos edifícios expostos para cada cenário de inundação**

As cartas das figuras 26, 27 e 28 apresentam a categoria de dano esperado dos edifícios expostos em cada uma das áreas de inundação. O cenário de inundação HSMP tem uma maior área de inundação e consequentemente um maior número de edifícios expostos. Com base nas percentagens de classes de dano da tabela 14 pode-se constatar que se trata do cenário que gera maior vulnerabilidade (mais edifícios susceptíveis de sofrer danos mais severos), apesar de o cenário PBF concentrar maior percentagem do total de edifícios nas três classes de dano mais grave. Portanto, considerou-se o cenário HSMP, de entre os cenários analisados, como sendo o pior cenário de vulnerabilidade a tsunami.

**Tabela 14 – Percentagem de edifícios de cada classe de dano por cenário de inundação.**

	HSMP	PBF	CWF
<b>D0</b>	4,98%	0,91%	10,11%
<b>D1</b>	4,86%	5,12%	1,79%
<b>D2</b>	31,67%	41,92%	43,75%
<b>D3</b>	38,88%	41,41%	39,74%
<b>D4</b>	19,61%	10,64%	4,62%



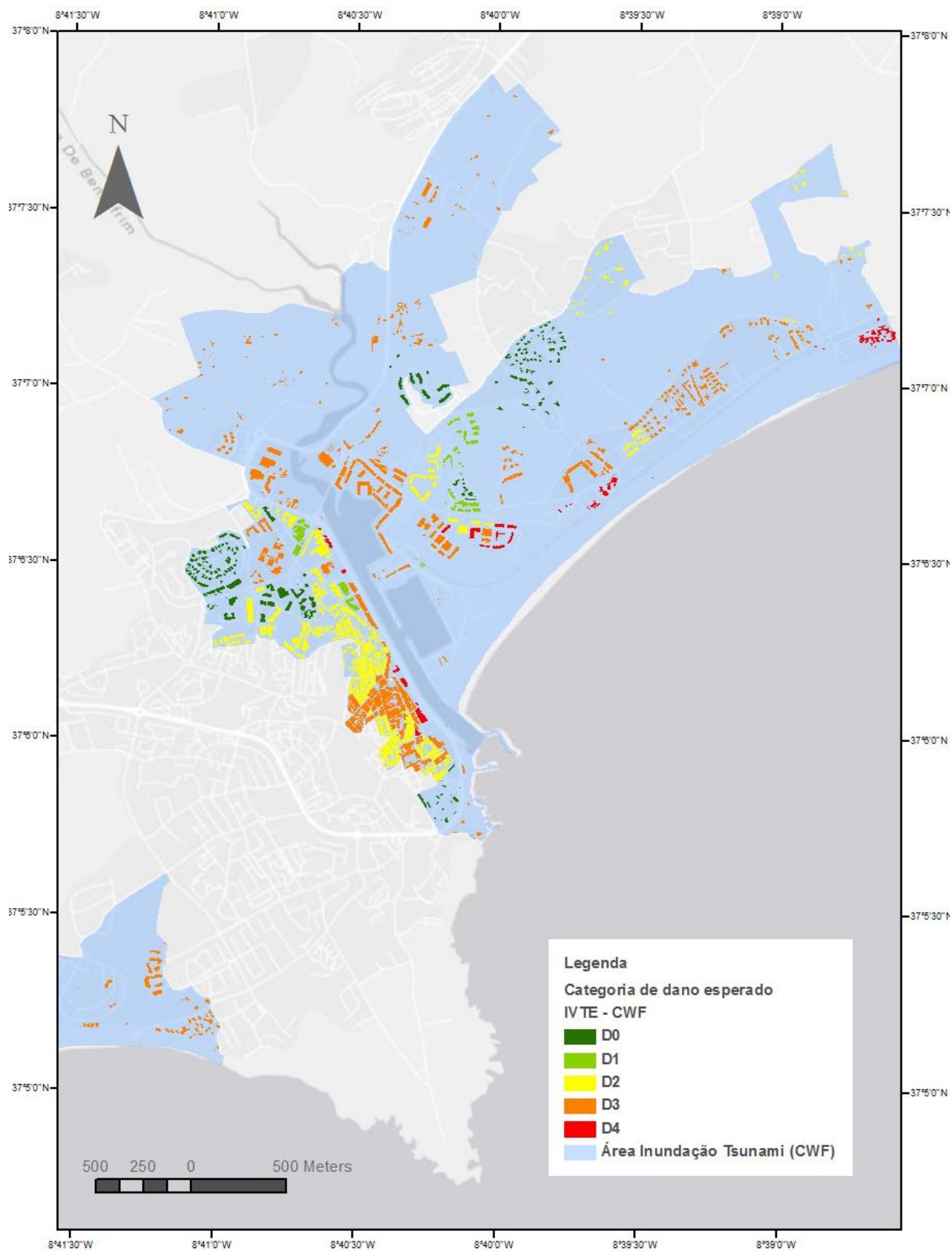
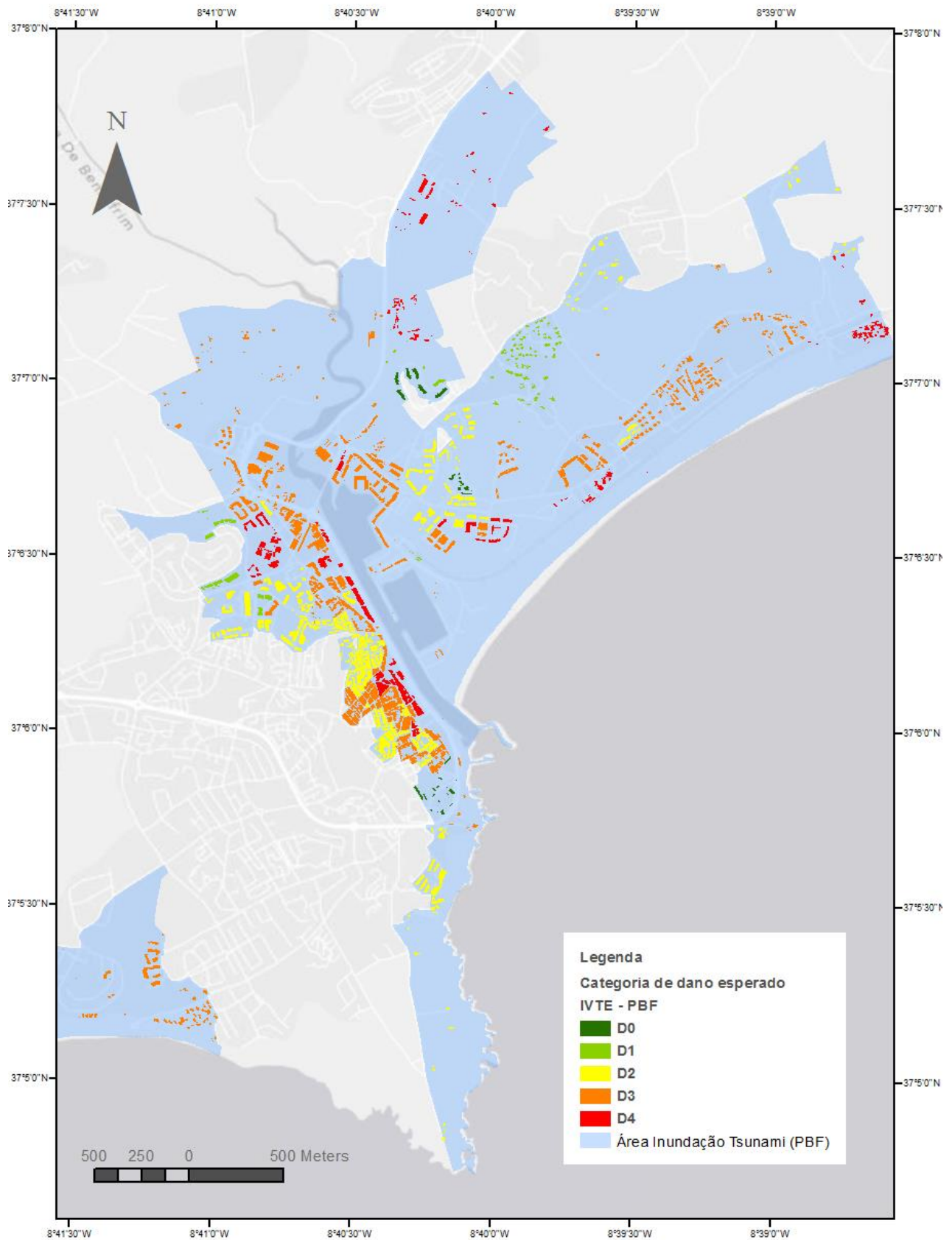
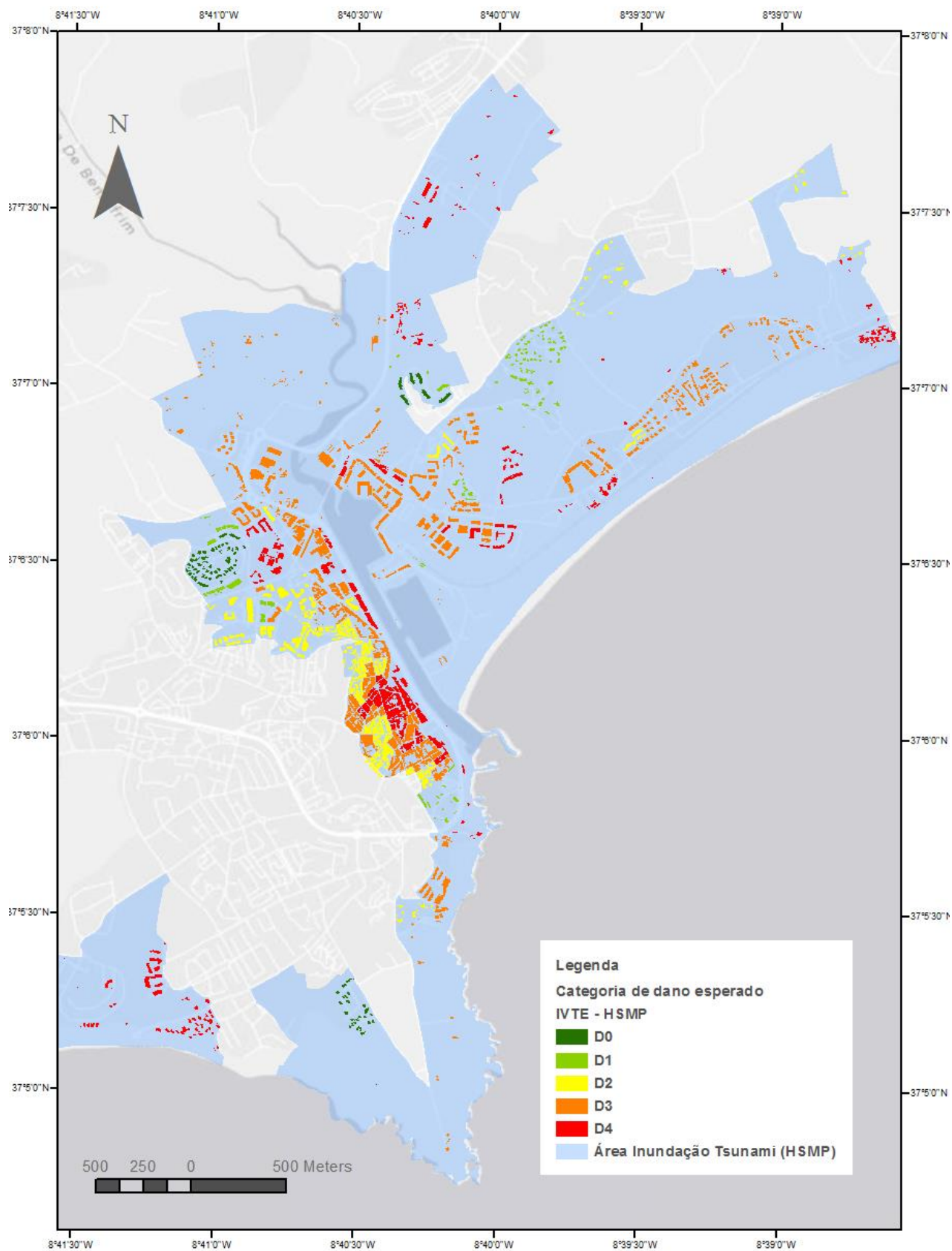


Figura 26 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação CWF



**Figura 27 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação PBF**



**Figura 28 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edifício de Lagos para o cenário de inundação HSMP**

### 3.6 Rotas de evacuação

Os mapas de rotas de evacuação por tsunami não são impressos nem elaborados como mapas compostos, são criados mapas dinâmicos *ad hoc* para apoiar a tomada de decisão durante as operações de evacuação (Projecto SCHEMA, 2011). Por esta razão os dados necessários para a elaboração de um plano de evacuação deve permitir uma análise tanto flexível quanto possível para que se possa adaptar a diferentes cenários de desastre.

Neste trabalho a evacuação por tsunami foi encarada como um problema assente na teoria de grafos, onde se procura maximizar o fluxo de pessoas que se deslocam numa rede, enquanto se tenta minimizar os custos dessa mesma deslocação.

A modelação das rotas de evacuação foi desenvolvida em 5 passos:

1. Criação de uma Rede “*Network Dataset*”;
2. Definição dos atributos da rede - Custos, Descritores e Restrições;
3. Identificação de áreas críticas e áreas seguras;
4. Localização de áreas de abrigo horizontal para tsunami;
5. Aplicação do método CASPER (Shahabi, 2012) de optimização de rotas para diferentes cenários de evacuação.

Para se poder modelar a rede na extensão Network Analyst do ArcGIS (ESRI) é necessária a criação de um ficheiro do formato *Network Dataset*. Este formato foi gerado a partir de uma fonte vectorial (*shapefile* de linhas) das estradas da área de estudo, e armazenado na geodatabase. A conectividade da fonte é preservada em dois temas, um para as junções e outro para as arestas que constituem a rede (Nós e Linhas do grafo). Por esta razão, foi necessário verificar previamente as condições de vectorização do tema das estradas (direcção e conexões), e corrigir por exemplo a falta de conexão de ruas em cruzamentos e em rotundas, porque se pretende que os elementos da rede se liguem pelas extremidades coincidentes (*endpoint connectivity*).



Figura 29 – Rede de Estradas, centro histórico de Lagos.

A extensão Network Analyst está vocacionada para análise de redes de transporte, neste caso pretende-se simular circulação pedonal, excluindo-se assim a utilização de automóveis ou de outros veículos (são desaconselhados para a evacuação, não só por obstruírem a via, mas principalmente por representarem uma ameaça à integridade física dos pedestres). Para adaptar a rede a este tipo de mobilidade foi necessário desprezar atributos da rede como o *Oneway* (sentido único) e *Turns* (curvas e mudanças de direcção), para conferir o grau de liberdade de deslocação pretendido.

Como atributos de custo ou impedância da rede (informação que se obtém como output de cada rota depois de calculada) foram acrescentados o tempo que se demora a percorrer cada elemento da rede em minutos e a distância em metros. O atributo de distância é portanto associado ao comprimento de cada segmento (*shape\_length* de cada *edge*) do tema original das estradas (rede viária). O custo de tempo de viagem em minutos requer o conhecimento da velocidade de deslocação da população a ser evacuada. Para a determinação deste valor de velocidade, interessou por outro lado, distinguir o tipo de vias, por se tratar de um factor que pode condicionar a velocidade a que uma pessoa se desloca. Na rede viária da área de estudo encontram-se dois tipos de vias diferentes, *road* e *steps*. Assumiu-se como velocidade média de deslocação de um ser humano 1,04 m/s em estrada normal e no caso das escadas, devido à difícil mobilidade, este valor foi reduzido para 0,5 m/s (Scheer et al., 2011).

O cálculo do tempo de deslocação foi integrado em dois novos campos da tabela de atributos, FT\_Minutos e TF\_Minutos referentes ao sentido da deslocação (FT – direcção da digitalização, TF- direcção oposta da digitalização), segundo a fórmula:

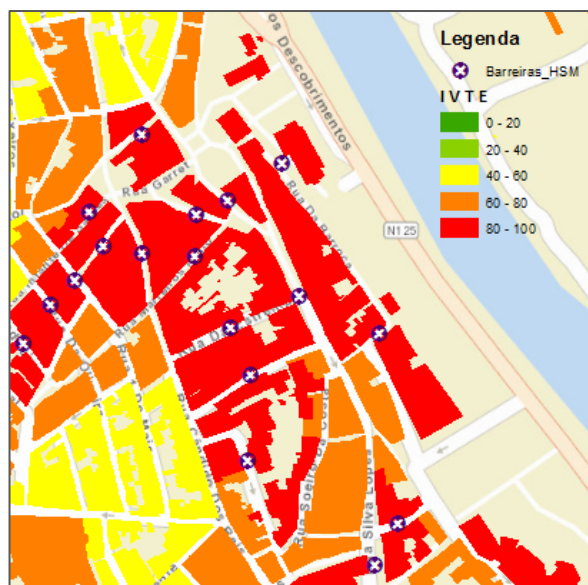
**Equação 9** – Tempo de deslocação (minutos) = (*shape\_length/speed*)/60

Devido ao problema de engarrafamento das vias numa situação de evacuação, é necessário introduzir no modelo um atributo que permita simular a capacidade de fluência/escoamento da rede com o objectivo de otimizar as rotas tendo em conta o fluxo máximo de pessoas por via. Foi então adicionado um atributo descritor da capacidade da estrada, adaptando-se o atributo preexistente LANES (número de faixas de rodagem) ao número de pessoas que poderão circular em simultâneo por faixa.

O limite mínimo da largura das faixas de rodagem definido no capítulo de Infra-estruturas rodoviárias e estacionamento do PDML (Plano Director Municipal de Lagos) é de 6m. Assumindo-se que os passeios, bermas e valetas podem estar obstruídos por canteiro, mobiliário urbano, sinais de trânsito ou veículos estacionados, e considerando que o termo LANES refere-se ao número de vias de trânsito por faixa, optou-se por atribuir o valor de 3m a cada via. O atributo “Capacidade” acabou por ser igual ao número do atributo “LANES” multiplicado por 4 (referente ao número de pessoas).

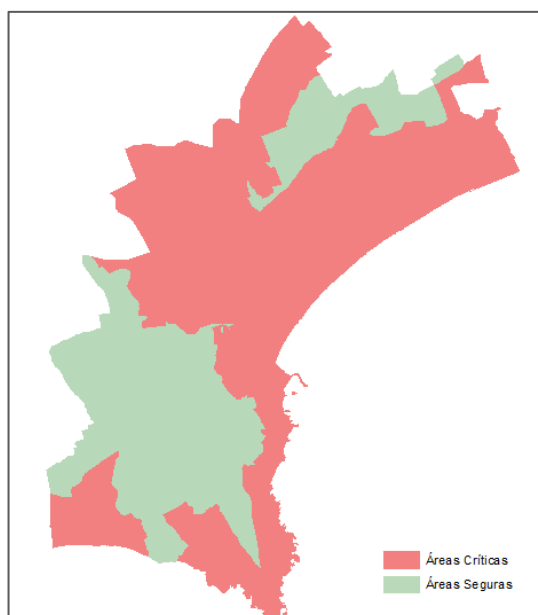
Os atributos do tipo restrição servem para limitar ou excluir alguns elementos da rede aquando da análise. Neste caso específico consideraram-se como restrições as estradas que poderão ficar bloqueadas pelo colapso de edifícios. Estas barreiras foram digitalizadas sob o formato de pontos sobre o *layer* das estradas, nas vias que se encontram entre dois edifícios classificados como D4 (IVTE 80-100%) em termos de categoria de dano esperado em cada um dos cenários de inundação.





**Figura 30 – Exemplo de localização de barreiras cenário HSMP**

As zonas a evacuar foram aqui denominadas de áreas críticas e são compostas pelas subsecções estatísticas sistematicamente inundadas nos três cenários de inundação analisados. Foram geradas a partir da junção dos mapas de altura média de onda dos três cenários, correspondendo às subsecções com valor maior que zero. As áreas consideradas como seguras foram todas as subsecções com valor igual a zero.

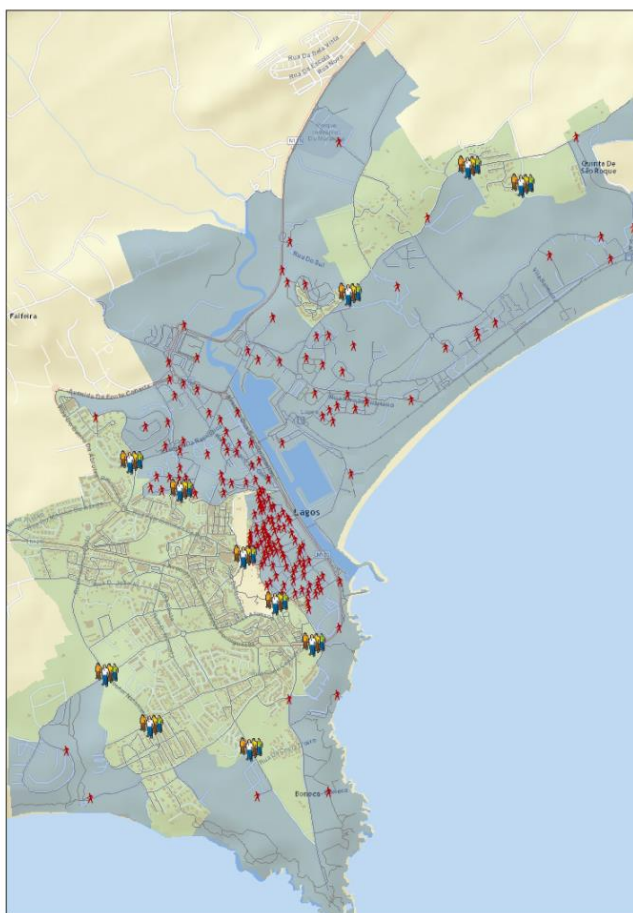


**Figura 31 – Áreas críticas e Áreas seguras.**

De modo a que seja possível gerar rotas de evacuação são necessários dois conjuntos de pontos, os pontos de origem e os pontos de destino (figura 32). Como pontos de origem consideraram-se os centroides das subsecções definidas como áreas críticas. Um aspecto importante na extracção dos pontos, foi a conservação dos atributos das subsecções, nomeadamente os referentes à população. Estes dados, servirão posteriormente para a simulação de rotas em situações temporalmente distintas com flutuações demográficas (dia-noite, época alta-época baixa). Por esta razão, os pontos de origem não foram extraídos da localização exacta dos edifícios.

Os pontos de destino, de concentração ou encontro de evacuados que também podem ser chamados de abrigos horizontais, em primeiro lugar devem estar localizados em áreas seguras que não sejam totalmente rodeadas por áreas com risco de inundação. Outro critério de escolha destes locais foi a relação com a rede de estradas, deve ser acessível, de preferência um ponto de confluência da rede e sem vias obstruídas na sua proximidade. Localizam-se junto a locais com baixa densidade de construções nomeadamente parques de estacionamento amplos, descampados ou espaços verdes pouco arborizados.

Procurou-se escolher locais relativamente próximos das áreas inundadas periféricas, para minimizar a distância dos pontos de origem, porque estas apresentam valores médios de altura de inundação apenas na ordem dos centímetros ou mesmo milímetros e também porque apenas num cenário mais extremo seriam efectivamente inundadas.



**Figura 32 – Localização dos Abrigos horizontais e dos pontos críticos.**

A estimação da população a evacuar foi executada no *layer* dos pontos críticos tendo em conta quatro cenários : Diurno-Época Alta (DEA); Diurno-Época Baixa (DEB); Nocturno-Época Alta (NEA) e Nocturno-Época Baixa (NEB).

O cenário DEB foi assumido como o valor de População Presente (PP) da base de dados dos Censos 2011 por estes terem sido levantados durante o mês de Janeiro no período diurno. No que respeita ao cenário NEB considerou-se como população a evacuar o total de População Residente (PR) por subsecção estatística. Os

dois cenários de época alta foram estimados de uma forma simplista (dado não se ter em posse a informação da ocupação turística), tendo em conta os resultados apresentados no estudo Modelação da Dinâmica e Mobilidade da População Presente na Região do Algarve (Gaspar et al., 2008), parte integrante do projecto ERSTA desenvolvido pelo CEG/UL em 2008. Neste estudo é apontado para o concelho de Lagos um incremento de cerca 100% da PP em relação à PR na época alta (dia de semana) num cenário maximalista. Adaptou-se portanto um valor de proporção menos optimista de 80% (para não criar assimetrias muito acentuadas entre subsecções) para o cenário DEA.

A cidade de Lagos segundo o Plano Municipal de Turismo (PEL - Plano Estratégico do Município de Lagos, 2005) dispunha de 4746 camas oferecida pelos estabelecimentos hoteleiros existentes, o que prefaz 24% da PR da área de estudo, caso a taxa de ocupação fosse de 100%. Será falacioso admitir a generalização desta percentagem para todas as subsecções estatísticas (por esta depender fortemente da localização das unidades hoteleiras), mas para efeitos de simulação foi a assumida no cálculo do cenário NEB.

- DEB (Cenário Diurno-Época Baixa) = PP
- NEB (Cenário Nocturno-Época Baixa) = PR
- DEA (Cenário Diurno-Época Alta) =  $(PR \cdot 0,8) + PP$
- NEA (Cenário Nocturno-Época Alta) =  $(PR \cdot 0,24) + PR$

Para além do carregamento dos dados referentes aos evacuados, abrigos e barreiras nos respectivos *layers* do Network Analyst (*Zones*, *Evacuees* e *Barriers*), a criação de rotas de evacuação com o ArcCasper necessita a especificação dos atributos de impedância e custo, assim como a definição da *Critical Density per Unit Capacity* (constante que indica a densidade crítica de uma estrada por unidade de capacidade) e da *Saturation Density per Unit Capacity* (constante que indica a densidade de saturação de uma estrada) (figura 33). A densidade crítica refere-se ao número máximo de evacuados a circular sem que a velocidade de escoamento da rota seja afectada e a densidade de saturação representa o limite de evacuados a partir do qual a velocidade de escoamento da rota é reduzida para  $0,368 (e^{-1})$  da velocidade original.

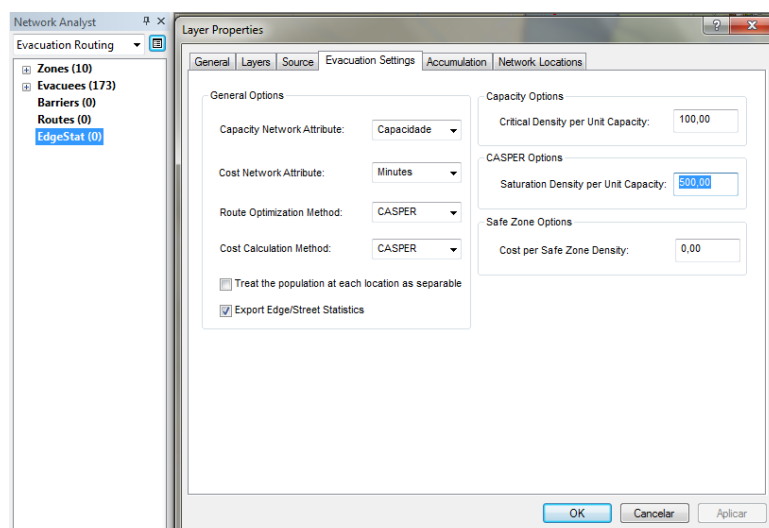


Figura 33 – Janela de Opções do ArcCasper



Após criadas as rotas de evacuação, para além da visualização no mapa é gerada uma tabela de atributos com a informação do ponto crítico de origem, da zona de abrigo de destino, da distância percorrida, da duração do percurso em minutos e do número de pessoas evacuadas (Figura 34). Será esta informação que possibilitará a comparação entre as rotas de evacuação dos diferentes cenários.

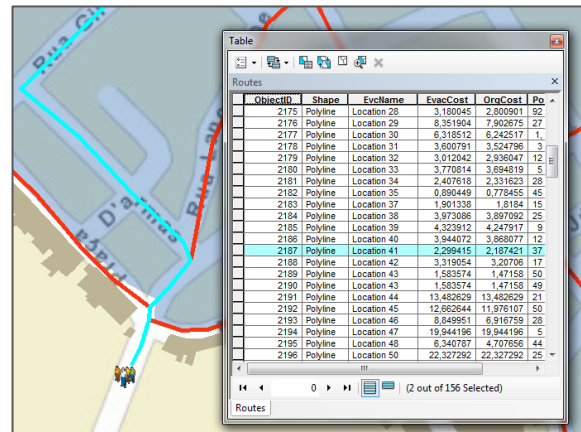


Figura 34 – Exemplo de tabela de atributos de rotas de evacuação

As rotas são então classificadas consoante o tempo do percurso, o que permite a identificação dos percursos inviáveis que excedam o Tempo de Evacuação (TE). A figura 35 representa a simulação para o cenário mais grave (HSMP-DEA), que combina o cenário de inundação com maior área inundada e valores de altura média de onda com o cenário com maior número de população a evacuar. As restantes 11 simulações serão apresentadas nos anexos.

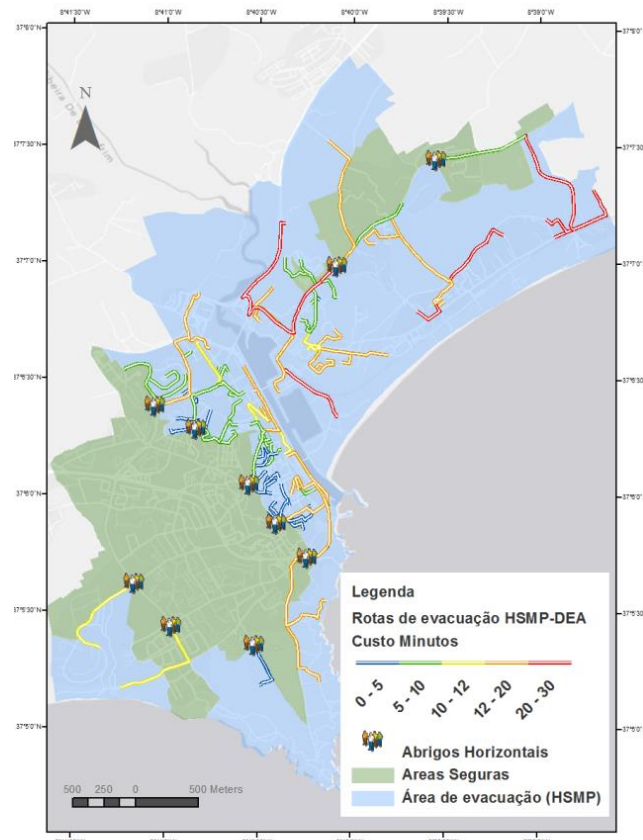
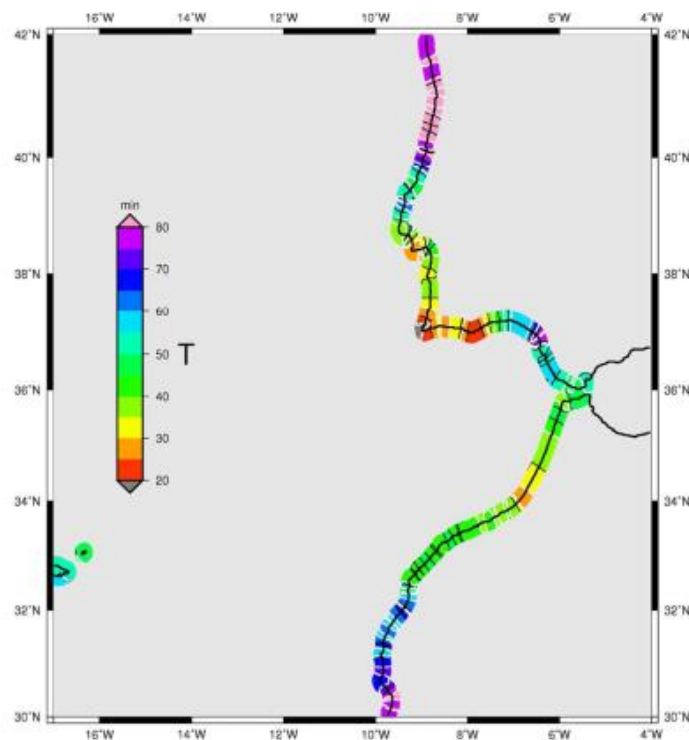


Figura 35 – Carta de Rotas de evacuação para o cenário diurno em época alta e de inundação HSMP.

O Tempo necessário para a Evacuação é o período de tempo disponível entre a emissão do alerta de tsunami e a chegada da primeira onda. Post et al. (2009) refere que existem quatro componentes do tempo de evacuação que consistem no tempo de decisão (tempo que decorre entre a detecção oficial do evento e a decisão de soar o alarme), no tempo de notificação, no tempo de reacção ou preparação da população (TR) e no Tempo esperado de Chegada de Ondas de Tsunami (TCT).

Os tempos de decisão e notificação foram agregados como Tempo de Aviso (TA) e assumiu-se como tempo médio por defeito 8 minutos (Dewi, 2012). A resposta de uma pessoa requer o conhecimento dos sinais de aviso de tsunami (sismo, descida do nível do mar ou os emitidos institucionalmente) e do conhecimento da comunidade de como proceder em caso de evacuação de tsunami. Trata-se de um tempo variável de pessoa para pessoa e foi assumido como tempo médio de reacção 10 minutos. O Tempo esperado de Chegada de Ondas de Tsunami foi adoptado de Omira *et al.* (2009b) onde é estimado o *Tsunami Travel Time* (TTT) mínimo correspondente aos vários cenários MCE (*Maximum Credible Earthquake*) de inundação (figura 36). Para o caso da costa de Lagos o TTT mínimo está entre os 25 e os 30 minutos.



**Figura 36 - Tsunami Travel Time (TTT) mínimo para a costa Atlântica de Portugal e Marrocos.**

[Fonte: Omira et al., 2009b]

O tempo de evacuação foi calculado a partir da seguinte fórmula adaptada de Post *et al.* (2009):

**Equação 10 -** 
$$TE = TCT - TA - TR$$

onde:

TE = Tempo necessário para a evacuação (12 minutos)

TCT = Tempo esperado de Chegada de Ondas de Tsunami (30 minutos)

TA = Tempo do Aviso (decisão institucional e notificação) (8 minutos)

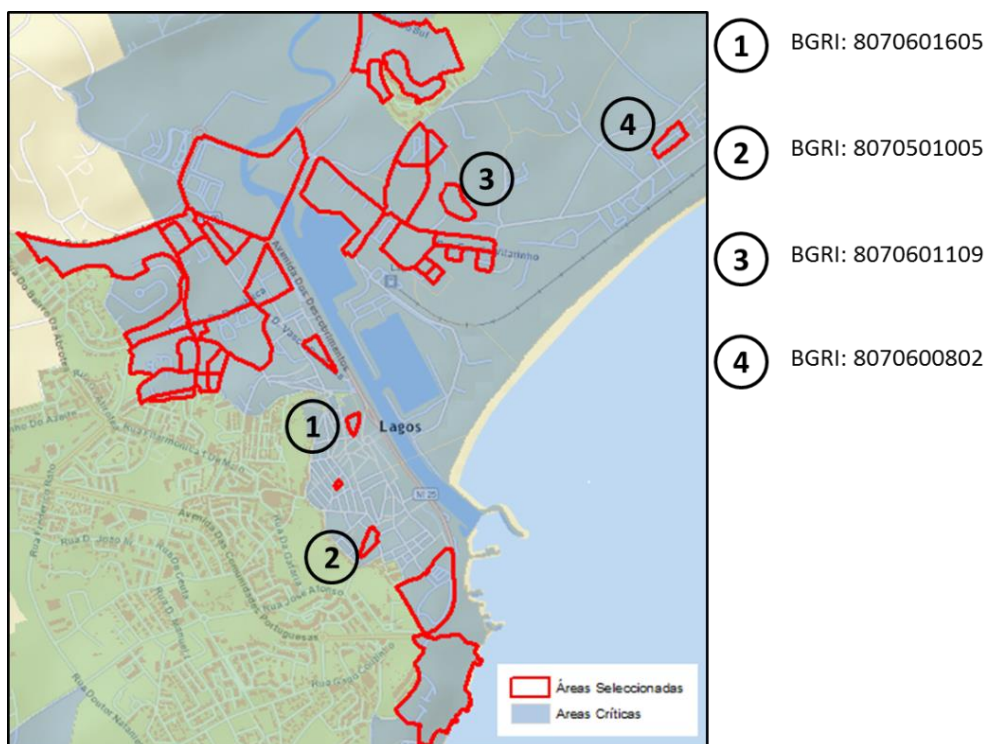
TR = Tempo de Resposta da População (10 minutos)

A estimação do TE foi imprescindível para a avaliação da necessidade ou não de serem implementados abrigos verticais no modelo de evacuação. Todas as rotas de evacuação que apresentem um tempo de percurso superior ao TE (12 minutos), ou seja que não permitam a evacuação segura em tempo útil, devem estar servidas por abrigos verticais.

Os abrigos verticais devem ser estruturas em betão armado ou metálicas colectivas ou com função residencial, escritórios ou parques de estacionamento elevados (Scheer, 2011), localizados nas áreas críticas. Devem ter um número de pisos superior à altura máxima da inundação (neste caso pode admitir-se 3 ou mais pisos) e deve ser um edifício classificado como D2 ou D3 do índice de vulnerabilidade tsunami. Os edifícios seleccionados devem também ser capazes de suportar danos provocados por detritos flutuantes de grandes dimensões, transportados pela onda no primeiro impacto ou durante o recuo das águas.

A selecção dos atributos dos edifícios deve respeitar a seguinte condição:

$(3OU4\_Pisos \text{ AND } 5OU\text{Mais\_Pisos} > 1OU2\_Pisos) \text{ AND } IVTE < 60$



**Figura 37 – Subsecções estatísticas seleccionadas para identificação de edifícios candidatos a abrigos verticais.**

De entre as subsecções estatísticas seleccionadas (figura 37) escolheram-se 4 que pudessem servir rotas inviáveis para a evacuação ( $TE > 12$  minutos) e procurou-se identificar edifícios no seu interior, que respeitem as condições necessárias para a constituição de abrigo vertical nomeadamente de terem uma altura segura, acessibilidade e um terraço amplo que possa acomodar um grande número de evacuados.



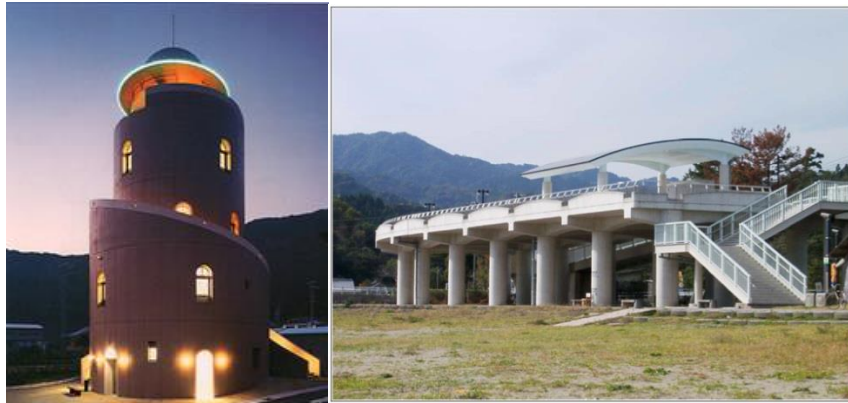


Figura 38 – Edifícios candidatos a abrigo vertical nas subsecções 1 e 2.



Figura 39 - Edifícios candidatos a abrigo vertical nas subsecções 3 e 4.

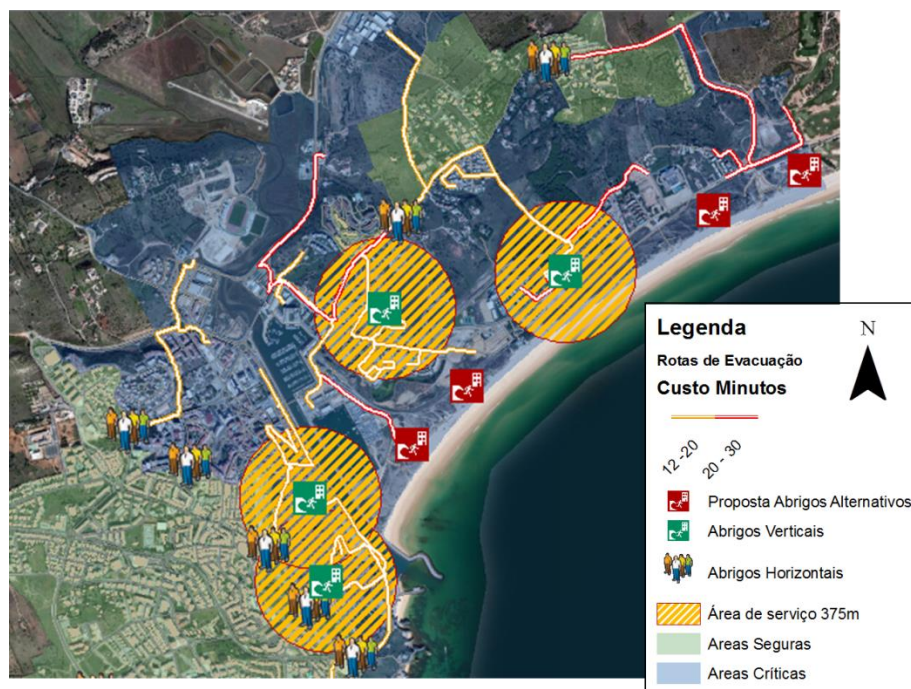
Nos casos em que a Selecção não apresente resultados junto aos percursos de rota com mais de 12 minutos deve ser sugerida uma nova localização para a construção de abrigos artificiais (figura 40). Estes abrigos artificiais podem ser edifícios de betão armado do tipo plataforma aberta ou em formato de monte. Devem ter acesso fácil e capacidade apropriada para alojar a população que será desviada das rotas de evacuação para abrigos horizontais anteriormente referidas.



**Figura 40 – Estruturas de Abrigo Vertical – Mie e Shirahma, Japão.**

Fonte: [Heintz & Mahoney,2008] e [Raskin et al., 2011]

Partindo do cenário de evacuação mais extremo (maior área inundada e maior número de pessoas a evacuar), o HSMP-DEA, geraram-se áreas de serviço para os 4 possíveis abrigos verticais num raio de 375 metros (distância percorrida em 12 minutos à velocidade de 1,04m/s). Estas áreas demonstram que mesmo assim alguns pontos críticos (origem das rotas nas subsecções estatísticas) continuam sem rotas de evacuação viáveis. Sendo assim são propostas na figura 41 quatro localizações para a construção de abrigos verticais artificiais ao longo da estrada Nacional M534 adjacentes à Meia Praia.



**Figura 41 – Carta de abrigos e rotas de evacuação inviáveis.**



Na figura 42 são identificados os 18 pontos de abrigo consoante o seu tipo (horizontais, verticais ou verticais alternativos) para toda a área de estudo. Geraram-se também correspondências entre cada subsecção estatística e o abrigo que a serve com base na distância sobre a rede de estradas (tabela apresentada em anexos 2).

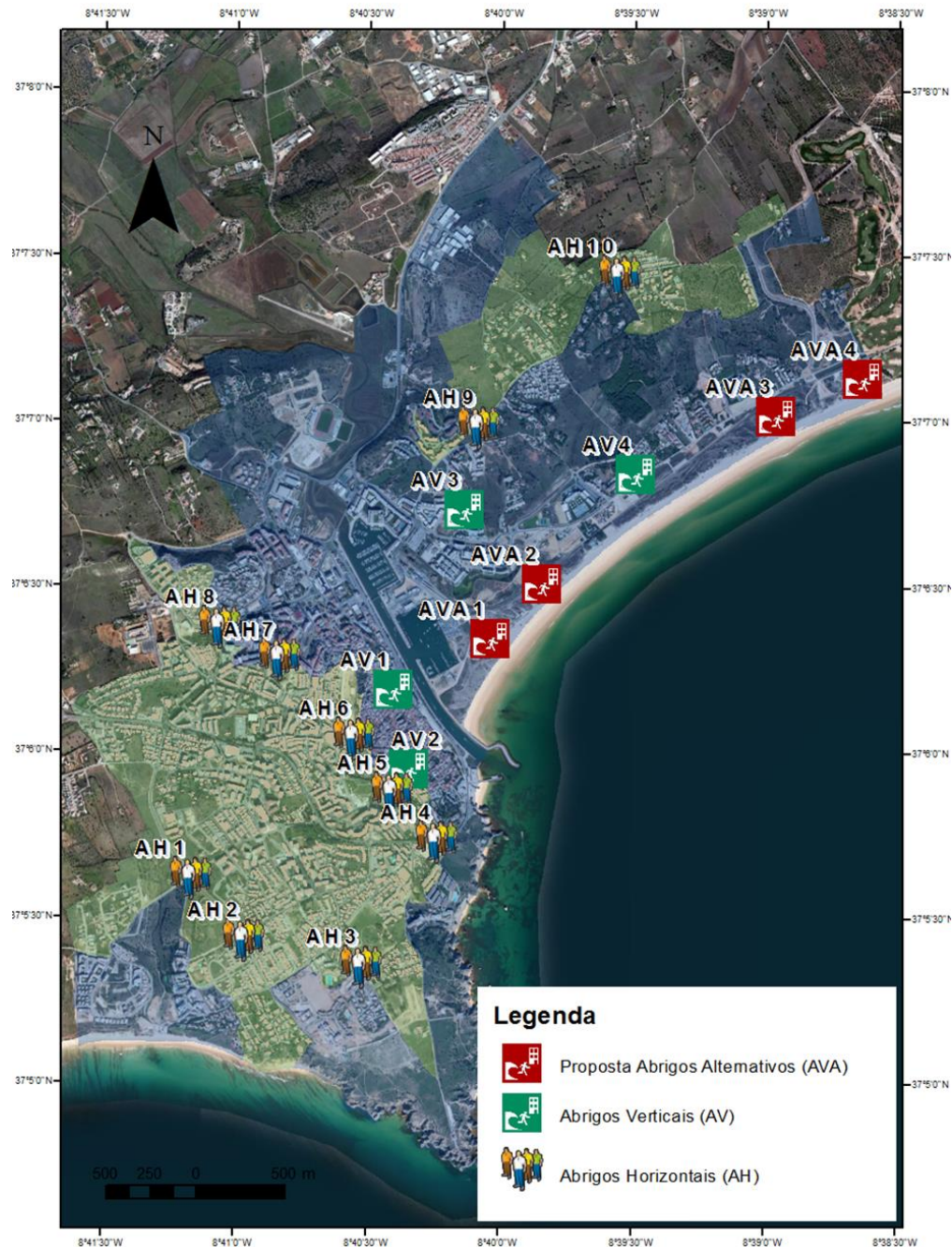


Figura 42 – Carta de abrigos para tsunami.

## CAPÍTULO IV – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

### 4.1 Análise das vulnerabilidades, potenciais perdas e evacuação.

A partir dos resultados obtidos para o índices de vulnerabilidade a tsunami do edificado (IVTE) para os três cenários de inundação (figuras 26, 27 e 28), pode-se verificar que, em qualquer um dos casos, estão expostos ao perigo de uma onda de tsunami mais de 2000 edifícios (cenário HSMP – 2652 edifícios, cenário PBF – 2340 edifícios, cenário CWF – 2295 edifícios) na área de estudo. Conclui-se também que a vulnerabilidade do edificado é significativamente influenciada pela localização (exposição a um maior valor de altura de onda). As áreas costeiras e das margens da Ribeira de Bensafrim apresentam um IVTE mais elevado independentemente (ou com menor influência) da vulnerabilidade estrutural. O centro histórico da cidade de Lagos é a área na qual a vulnerabilidade estrutural, por apresentar tipologias construtivas mais frágeis, tem maior peso no IVTE estimado que o critério da altura média da onda.

Como pode ser observado no gráfico 11 que indica o número de edifícios por classe de dano, as classes de dano D2 (dano moderado) e D3 (dano severo) são predominantes nos três cenários (entre 70 e 83% dos edifícios). No caso do cenário HSMP ocorre uma transferência mais acentuada de edifícios classificados como D2 para as classes D3 e D4 (cerca de metade do total de edifícios).

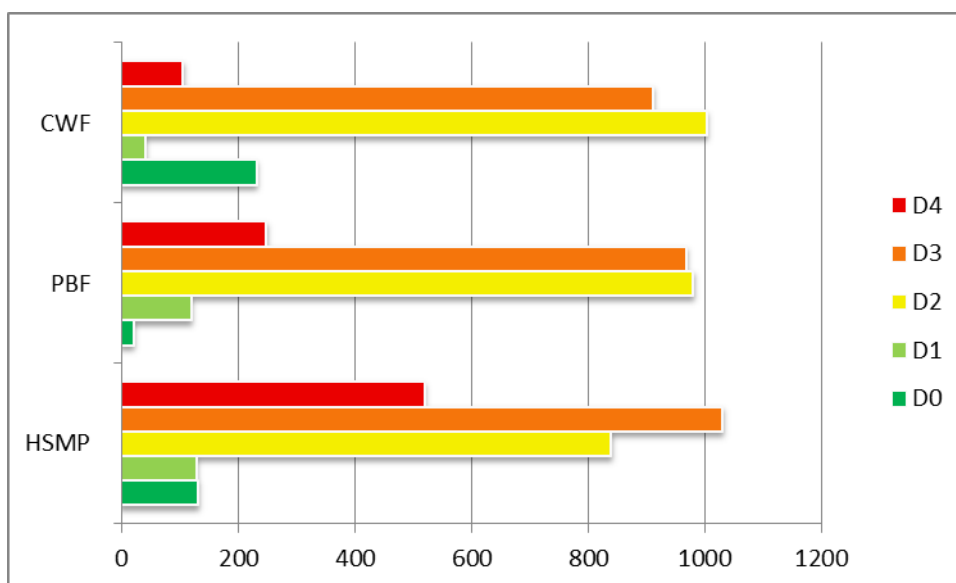


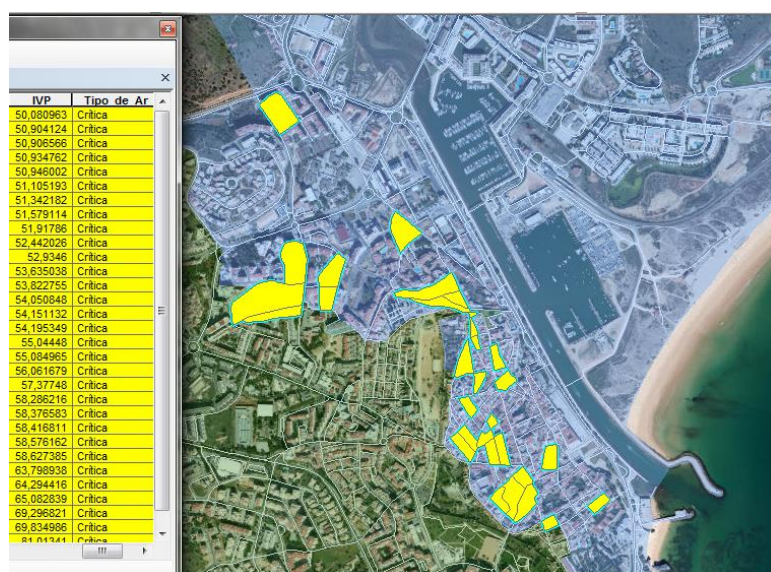
Gráfico 11 – Número de edifícios por categoria de dano para os três cenários de inundação.

Com base nesta classificação pode-se também aferir a população que é directamente afectada em cada um dos cenários em função das condições de habitabilidade do edificado. A tabela 12 relaciona o número de habitantes (População Residente por subsecção estatística) por cada classe de dano e estima o número de desalojados tendo em conta que os edifícios classificados como D3 e D4 não apresentarão condições mínimas de habitabilidade após a inundação.

**Tabela 15 – População afectada - Número de habitantes (PR) por categoria de dano esperado nos três cenários de inundação.**

	HSMP	PBF	CWF
D0	375	18	798
D1	283	279	94
D2	2319	2639	2796
D3	2155	1860	1514
D4	1192	905	294
Total	6324	5705	5496
Desalojados	3347	2765	1808

Em caso de tsunami não se consegue relacionar directamente o número de feridos ou mortos com o dano dos edifícios como em caso de sismo. Isto porque se parte do princípio de que é possível evacuar uma parte significativa da população antes da ocorrência do evento. Em termos de mortalidade relacionada com tsunamis, a maioria tende a ser devido a afogamento ou complicações respiratórias associada à ingestão ou inalação de água subsequentes a quase-afogamento (Guha-Sapir et al., 2006). Pode-se contudo proceder ao exercício hipotético de relacionar as subsecções estatísticas das áreas expostas com um IVP (índice de vulnerabilidade da população) acima dos 50% e estimar o número de população residente mais vulnerável e consequentemente mais susceptível de não ser evacuada em tempo útil (podendo gerar feridos e mortos). A figura 43 retrata as subsecções nessas condições de vulnerabilidade que perfazem um total de 1975 habitantes.



**Figura 43 – Subsecções estatísticas da cidade de Lagos com IVP superior a 50%, passíveis à ocorrência de perdas humanas (feridos e mortos) em caso de tsunami.**

Estendendo esta análise para os resultados obtidos nas simulações de evacuação, pode constatar-se que sem a existência de abrigos verticais, entre 911 e 1755 pessoas não conseguiriam ser evacuadas para áreas seguras em tempo útil. Na tabela 13 estão contabilizados o número de evacuados das rotas de evacuação que excedem os 12 minutos (Tempo necessário para a evacuação) e que portanto devem ser direccionados para abrigos verticais em cada cenário de evacuação analisado.



**Tabela 16 – Número de evacuados a ser direccionados para abrigos verticais, por cenário de evacuação (Diferença entre População considerada por cenário e número de Evacuados da simulação ArcCasper).**

Cenários	DEA	DEB	NEA	NEB
HSMP	1755	1085	1366	973
PBF	1667	1040	1297	924
CWF	1643	1016	1279	911

Estes números e localizações de estruturas e população envolvidas e potencialmente afectadas devem servir de indicação às autoridades competentes quais as zonas devem ser prioritariamente intervencionadas. A modelação de redes de evacuação foi essencial para evidenciar a importância do papel dos abrigos verticais em Lagos. Apesar da cidade topograficamente não ser plana (declive considerável para a periferia) e de existirem pontos de encontro em áreas seguras de refúgio relativamente próximas das áreas inundadas, estes não são suficientes para servir toda a população afectada.

No Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Lagos (PMEPC) são identificados como ZCL's (zonas de concentração Local, que correspondem a locais de reunião das pessoas provenientes das zonas sinistradas) o Pavilhão da Escola Júlio Dantas e o Centro de Saúde, ambos situados em áreas seguras, para onde podem ser redireccionadas pelas autoridades num segundo momento de evacuação. Estas zonas de evacuação secundária poderão servir de alojamento temporário onde poderão ser garantidas as necessidades básicas (alimento, agasalho, instalações sanitárias e cuidados de primeiros socorros). Estas duas ZCL não foram contempladas nas simulações por não serem eficientes num primeiro momento de evacuação devido ao facto de se localizarem a uma distância relativamente considerável das áreas inundadas o que faria aumentar o tempo de evacuação.

As simulações realizadas para 12 cenários são extremamente úteis também por haver um tempo de remoção muito curto o que consequentemente provoca maior congestionamento nos segmentos das rotas onde confluem mais pessoas dificultando as próprias operações de evacuação. Deste modo pode-se identificar os troços onde ocorre essa situação e proceder de modo a conseguir mitigá-la.

Como foi proposto no capítulo anterior, a medida mais eficaz para resolver o problema das rotas de evacuação inviáveis é a adaptação de edifícios existentes como abrigos verticais e a construção de novas estruturas adaptadas para esse mesmo fim. A rede de abrigos verticais sugerida (figura 40) é composta por 4 edifícios existentes e outros 4 construídos ao longo da Meia Praia por esta zona não dispor de edifícios com as características necessárias e habilitados para a função. Mesmo no cenário mais pessimista (HSMP-DEA) estes 8 abrigos verticais demonstram ser suficientes para acomodar 1755 pessoas em tempo útil.

No caso de não existir esta alternativa, por exemplo devido a custos de construção elevados, podem ser consideradas outras medidas de mitigação tais como a instalação de quebra-mares, molhes, etc (Scheer et al., 2011).

Na metodologia adoptada neste trabalho não foram integrados outros factores importantes como a vulnerabilidade económica que possibilitaria calcular o risco tendo em conta a as perdas económicas, ou a vulnerabilidade de infraestruturas críticas, que poderiam fornecer informação pertinente principalmente para as operações de recuperação do desastre.

## 4.2 Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos, conseguidos com a informação disponível, mostraram-se relativamente satisfatórios, o que não invalida que no futuro sejam adoptadas metodologias mais minuciosas, exaustivas e rigorosas, integrando mais e melhores dados de diversas naturezas, necessários neste tipo de estudo. Um levantamento de dados no terreno por exemplo sob a forma de questionário ou inquérito, contemplando aspectos tanto da população como do edificado, seria sempre uma mais valia, mas teria custos.

A estimação do dano provocado a um edifício pela força de uma onda de tsunami requer informação precisa sobre o comportamento mecânico dos materiais de construção assim como a forma e a sua geometria exacta (Omira et al., 2009). Outro aspecto que poderá ser interessante incluir numa futura análise diz respeito às as barreiras físicas (barreiras de defesa marítima como por exemplo paredões, obstáculos naturais como arribas, arborização, e edifícios adjacentes que resguardem em relação à direcção da propagação da onda). Quanto à vulnerabilidade da população, ou social, será necessária a introdução de muitos outros indicadores na estimação de um índice mais detalhado e fiável. As propostas de localização dos abrigos verticais adicionais requerem um estudo de pormenor, nomeadamente no que respeita à sobreposição à Rede Ecológica Nacional (REN) e restantes condicionante do PDML, entre outros. Deverão também ser recalculadas as rotas de evacuação já incluindo os abrigos verticais e testada a optimização que estes conferem à simulação da evacuação.

Ainda no âmbito do projecto VULRESADA, esta metodologia poderá também vir a ser adaptada ao caso de estudo da cidade de Cascais, já existindo uma análise preliminar da vulnerabilidade à ocorrência de tsunamis (elaborada pelo Instituto Dom Luiz em colaboração com o grupo de Investigação *Coastal and Tsunami Hazards*).

Do ponto de vista da divulgação, pode ser equacionada a produção/desenvolvimento de um WebSIG disponibilizado através da internet. Deverá conter as áreas de risco a evacuar, a localização dos abrigos e locais de concentração e as rotas expectáveis de evacuação. Por se tratar de informação gráfica transmitida à população em geral, deverá ter uma simbologia simples harmonizada pelas normas ISO de perigo de tsunami (ISO -20712) (International Organization for Standardization, 2008).

## 4.3 Considerações Finais

Apesar de se conhecer melhor as causas e potenciais consequências dos desastres naturais através dos avanços científicos e tecnológicos das ultimas décadas, as perdas humanas, a nível mundial pouco diminuíram e as perdas económicas aumentaram drasticamente. O aumento da população e da complexidade da organização social, o uso inadequado do território e práticas construtivas são claramente causas dos tendencialmente mais frequentes desastres “naturais”. Em geral pode-se afirmar que as sociedades tornaram-se mais vulneráveis devido aos modelos económicos inaceitavelmente frágeis.

Em concreto, na débil situação económica actual em que o Estado Português se encontra, tendo sido obrigado a solicitar assistência externa (Memorando de Entendimento) a instituições internacionais (Comissão Europeia, Banco Central Europeu e Fundo Monetário Internacional), o modelo austeritário adoptado não permitem a disponibilização de recursos para projectos de investimento, mas sim para aqueles que gerem retorno económico para o país e melhorem a competitividade das empresas (Ferreira,

2012). Esta situação a prolongar-se a médio prazo, poderá contribuir para o aumento do risco a desastres naturais. A degradação situação económica e social da população nomeadamente o desemprego, o desinvestimento público na reabilitação urbana e na aplicação de medidas de mitigação, são factores que podem conduzir ao aumento da vulnerabilidade.

O sector do turismo, por exemplo, demonstra uma manifesta falta de conhecimento sobre o risco e estrategicamente é do seu interesse (económico) ignorá-lo. Iniciativas como a criação em 2012 de um guia de procedimentos de evacuação tsunamis para hotéis, financiado pela União Europeia e coordenado pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental da UNESCO, procuram contrariar esta tendência ao procurar envolver as gestões das unidades hoteleiras na prevenção, na comunicação e preparação, assim como na integração operacional das estratégia de evacuação.

Quanto à percepção do risco de tsunami segundo o estudo de Mendes & Freiria (2012), diagnosticou-se que a população portuguesa não se encontra consciente do risco real que corre, embora mostre disponibilidade para obter mais informação sobre o tema e apoie medidas de sinalização visual e aviso sonoro nas zonas mais susceptíveis de serem afectadas por tsunamis. A inversão desta situação passa por um processo que envolve educação, sensibilização, informação e participação da população, e deve partir do Estado em articulação com a comunidade científica, autarquias, empresas para que as políticas económicas e do ordenamento do território possam efectivamente garantir a segurança de pessoas e bens face ao risco de tsunami.

Em entrevista ao programa biosfera da RTP2 do dia 2 de Fevereiro de 2014, acerca do tema de riscos costeiros, o professor José Luís Zêzere (Centro de Estudos Geográficos – CEG-UL) afirma que: “a forma de começar a resolver o problema é impedir que se construa mais nestes sítios, portanto, é mais complicado retirar as casas e as pessoas que já lá estão mas é mais fácil do ponto de vista político impedir que se continue a construir nestas zonas de risco, isso é uma questão política, uma opção.”

No início de 2014, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA) começa a operar um novo sistema de alerta, o que é um grande passo no que diz respeito à mitigação. Em Portugal, é ao IPMA que cabe lançar os avisos de tsunami à Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC), à qual compete transmitir os alertas à população e a outras entidades. Está também programado para 2016 um exercício de simulacro promovido pela Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI). Todas estas medidas assim como as opções de evacuação horizontal e vertical sugeridas neste trabalho contribuem para melhorar a capacidade de resposta e resiliência da população e deveriam tornar-se parte integrante não só dos planos de emergência mas também nos instrumentos de planeamento do território (PMOT, PU, PP, PEDM, etc).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abreu, E., (2012) *Estudo Das Condições De Liquefação Da Areia De Coimbra Em Triaxial Estático E Cíclico*, Feup, Porto.
- Alves, P.F.M., (2004), *Proposta de Questionário para a escala Macrossísmica europeia de 1998. Notas de utilização e exemplos*, SÍSMICA 2004 – 6º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, pp. 330-338.
- ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil, (2013), *Planos Municipais de Emergência Perguntas Respostas*, Lisboa, Carnaxide, pp. 1-11. <http://www.proteccaocivil.pt>
- ANPC (2009), *Guia Metodológico para a Produção de Cartografia Municipal de Risco e para a Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil, Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Instituto Geográfico Português.
- Baptista, M.A, Miranda J.M., Luis, J.F., (2006), *In Search of the 31th March 1761 Earthquake and Tsunami Source*, Bulletin of the Seismological Society of America, 96, 2, pp 713-721.
- Baptista, M.A., (1998), *Génese, propagação e impacto de tsunamis na costa portuguesa*, Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 202 pp.
- Baptista, M.A., Omira, R., Matias L., Miranda J. M., Annunziato A., Carrilho F. and Kaabouben F., (2011), *On the On the Need for a Tsunami Warning System in the North East Atlantic Area (Gulf of Cadiz)*, The Tsunami Threat - Research and Technology, INTECH.
- Baptista, M.A.; Miranda, J.M., (2009), *Revision of the Portuguese catalog of tsunamis*, Natural Hazards an Earth System Sciences, pp. 1-18, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/25/2009/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/25/2009/)
- Barreira, E.; Teves-Costa, P.; Omira, R.; (2010), *Vulnerabilidade Sísmica do Parque Habitacional da Cidade de Lisboa*, Sísmica 2010 – 8º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, Programa QREN\_PORL, p-p 1-11.
- Birkmann, J., (2006) *Measuring Vulnerability to Natural Hazards, Towards Disaster Resilient Societies*, Tokyo-New York-Paris, United Nations University Press, pp. 1-14. <http://www.unu.edu>
- Birkmann, J., (2007), *Risk and vulnerability indicators at different scales: Applicability, usefulness and policy implications*, Bonn, Elsevier, Environmental Hazards, pp. 20-31.
- Birkmann, J., Teichman, K., Welle, T., González, M., Olabarrieta, M., (2011), *O risco não percebido para as zonas costeiras da Europa: Os tsunamis e a vulnerabilidade de Cádiz*, Espanha, Centro de Estudos Sociais, pp. 129-165. <http://rccs.revues.org/1368>
- Borges, K. A. V.; Davis Jr., C. A.; Laender, A. H. F., (2011), *Omt-G: An Object-Oriented Data Model For Geographic Applications*. Geoinformatica, V. 5, N.3, pp 221-260.
- Bruneau, M.; Chang, S.; Eguchi, R.; Lee, G.; O'Rourke, T.; Reinhorn, A.; Shinozuka, M.; Tierney, K.; Wallace, W. e Von Winterfeldt, D. (2003), *A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities*. Earthquake Spectra. 19(4) pp 733-752.
- Costa, E.; Vicêncio, H.; Pires, P., (2012), *Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERST)*, Faro, RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Artigo da Revista Territorium, nº 19, 2012, pp. 51-54. Journal homepage: [http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros\\_publicados](http://www.uc.pt/fluc/nicif/riscos/Territorium/numeros_publicados)
- Cutter, S., (2009), *Measuring and Mapping Social Vulnerability*, Bangkok, Thailand, Hazards & Vulnerability Research Institute Department of Geography University of South Carolina, Cities at Risk, February 28-28, 2009, pp. 1-26.
- Cutter, S.L., (s.d.), *Representação esquemática de resiliência com base na metodologia de integração GIS*, Urban paper for the Urban Coast Institute.

Cutter, S.L.; Barnes, L.; Berry, M.; Burton, C.; Evans, E.; Tate, E.; Webb, J., (2008), *A place-based model for understanding community resilience to natural disasters*, Columbia, Department of Geography and Hazards & Vulnerability Research institute, University of South Carolina, USA, ELSEVIER, pp. 1-9, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gloenvcha](http://www.elsevier.com/locate/gloenvcha)

Dall'Osso, F.; Gonella, M.; Gabianelli, G.; Withycombe, G.; Dominey-Howes, D.; (2009), *A revised (PTVA) model for assessing the vulnerability of buildings to tsunami damage*, Natural Hazards and Earth System Sciences, Sydney, 9, 1557-1565, 2009.<http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net>

Dewi, S. (2012), *A-Gis Based Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction*, Journal of Integrated Disaster Risk Management 2, 23, pp. 2185-8322.

Dewi, S. R., Salam, M., Suwadi, S., (2010), *Remote Sensing For Disaster Mitigation: Case Study For Tsunami Evacuation Route Modelling In Cilacap-Central Java, Indonesia*, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Kyoto Japan, Volume XXXVIII, Part 8.

DGT – Direcção Geral do Território, (2013), [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/sistemas\\_de\\_referencia/portugal\\_continental/datum\\_73\\_obsoleto\\_\\_\\_substituido\\_pelo\\_sistema\\_pt\\_tm06\\_etr89\\_](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/sistemas_de_referencia/portugal_continental/datum_73_obsoleto___substituido_pelo_sistema_pt_tm06_etr89_)

Direcção Nacional de Planeamento de Emergência/Núcleo de Riscos e Alerta, (2010), *Estudo do Risco Sísmico e de Tsunami do Algarve*, Autoridade Nacional de Protecção Civil, A3-Artes Gráficas, Dezembro 2010.

Estêvão, J.M.C., (1998), *Modelo Computacional de Avaliação do Risco Sísmico de Edifícios*, Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, Dissertação para o Grau de Mestre em Engenharia de Estruturas, pp. 1-147.

Estêvão, J.M.C., (2012), *Efeitos da ação sísmica no comportamento de edifícios de betão armado com alvenarias de enchimento*, Lisboa, UTL-IST, Tese de Doutoramento p. 1-452.

Ferreira, M.M.L.S.A., (2012), *Risco Sísmico em Sistemas Urbanos*, Lisboa, Tese para Grau de Doutor em Engenharia do Território do Instituto Superior Técnico, Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Gaspar, J.; Rodriguez, J.F.; Queiróz, M.; Henriques, E.B.; Palma, P.; Vaz, T.; (2008), *Determinação das Vulnerabilidades Humanas em Situação de Risco Sísmico e Tsunamis. O Caso do Algarve*, ANPC e Faculdade de Letras/Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Inforgeo, 2007/2008, pp. 51-66.

Giovinazzi, S.; Lagomarsino, S.; (2004), *A Macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings*, 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2004, paper Nº.896.

Gonçalves, D.C.; Ribeiro, M.J.; Víctor, L.A.M.; (2012), *Risco, Incerteza e Modernidade, Cidades Litorais. Vulnerabilidade e Resiliência no Âmbito da Sociologia do Risco e Incerteza*, VII Congresso Português de Sociologia, Porto, Universidade do Porto, Faculdade de Letras, Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, paper 0651, pp 1-12.

González-Riancho, P., Ayerb, I. A., Quiroga, I. A., Abad, S., Gonzáles, M., Larreynaga, J., Gavidia, F., Gutiérrez, O. Q., Gómez, J. A., Medina, R., (2013) *Tsunami evacuation modeling as a tool for risk management: application to coastal area of El Salvador*, *Nat Hazards Earth Syst, Sci.*, 1, pp. 2163-2205

Grünthal, G. (1998): *European macroseismic scale 1998*, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15. Luxembourg pp. 99

Guha-Sapir D., Van Panhuis, W.G., Lagoutte, J., (2006), *Patterns of chronic and infectious diseases after natural disasters A study from the International Committee of the Red Cross field hospital in Banda Aceh after the 2004 Indian Ocean tsunami*, Tropical Medicine and International Health, 12 (11), pp 1338-41.

Haddow, George D. and Jane A. Bullock, (2007), *Introduction to Emergency Management* (2nd Ed.). Burlington, MA: Elsevier Butterworth-Heinemann.

Heintz, J. A., and Mahoney, M., (2008) *Guidelines For Design Of Structures For Vertical Evacuation From Tsunamis*, Federal Emergency Management Agency and the National Oceanic and Atmospheric Administration ATC-64 Project, FEMA P646 Report, pp 1-8.

Jelínek, R., Eckert, S., Zeug, G., Krausmann, E., (2009), *Tsunami Vulnerability and Risk Analysis Applied to the City of Alexandria, Egypt*, JRC Scientific and Technical Reports, Ispra, Italy, <http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/>.

MacFarlane, R., (2005), *A Guide to GIS Applications in Integrated Emergency Management*, Emergency Planning College, Cabinet Office.

Leonard, G.S.; Power, W.; Lukovic, B.; Smith, W.; Johnston, D.; Downes, G., (2008). *Tsunami evacuation zones for Wellington and Horizons regions defined by a GIS-calculated attenuation rule*, GNS Science Report, New Zealand 2008/30. Pp. 22.

Maheshwari, B.K.; Sharma, M.L.; Narayan, J.P., (2006), *Structural Damages on the Coast of Tamil Nadu due to Tsunami caused by December 26, 2004 Sumatra Earthquake*, ISET Journal of Earthquake Technology, Paper Nº. 456, Vol. 42, Nº. 2-3, June-September 2005, pp. 63-78.

Martins, V.N.B., (2010), *Avaliação da Vulnerabilidade Sócioecológica ao Risco Sísmico no Conselho de Vila Franca do Campo (Açores), contributo para a construção de uma comunidade resiliente*, Lisboa, Dissertação de Mestrado no Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa, Setembro de 2010.

Matias, L.M.; Cunha, T.; Annunziato, A.; Baptista, M.A.; Carrilho, F.; (2013), *Tsunamigenic earthquakes in the Gulf of Cadiz: fault model and recurrence*, Natural Hazards and Earth System Sciences, pp. 1-13. [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1/2013/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/13/1/2013/)

Maximilians, L., (2010), *Assessing Building Vulnerability to Tsunami Hazard Using Integrative Remote Sensing and GIS Approaches*, Dissertation der Fakultät für Geowissenschaften Universität München.

Mendes, J. M., Freira, S., (2012), *O Risco de Tsunami em Portugal Percepções e práticas*, Centro de Estudos Sociais, Coimbra, Setembro 2012.

Milutinovic, Z.V. e Trendafiloski, G.S. (2003), *WP04. Vulnerability of current buildings. RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*, Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS), Skopje, pp. 109.

Mouroux, P.; Bertrand, E.; Bour, M.; Le Brun, B.; Depinois, S.; Masure, P.; and the Risk-UE team, (2004), *The European Risk-UE Project: an advanced approach to earthquake risk scenarios*, Vancouver, B.C., Canada, 13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, paper Nº 3329.

Neer, T., (2005), *The Field Calculator, UNLEASHED*, ArcUser April-June 2005, <http://www.esri.com/>

Neto, M.J.P.; Januário, P.G.; Kong, M.S.M.; Garcia, A.; (2011), *A City Between Visions: perspectives on the city of Lagos (Portugal), a Glimpse Throughout time and memory, its effects on architecture and urban environment*, Aljezur, 15<sup>th</sup> International Planning History Society Conference, pp. 1-18.

Nunes, M., Ferreira, Ó., Luís, J., (2009), *Tsunami Vulnerability Zonation in the Algarve coast*. Journal of Coastal Research, Faro, pp. 749-258.

Oliveira, C.S., Ferreira, M.A. e Mota de Sá, F., (2004), *Seismic vulnerability and impact analysis: elements for mitigation policies*. Proceedings, XI Congresso Nazionale on L'ingegneria Sísmica in Italia. Genova, Italy, pp 25-29.

Oliveira, C.S.; Mota de Sá, F. e Ferreira, M.A. (2005), *Application of two different vulnerability methodologies to assess seismic scenarios in Lisbon*, Proceedings, 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, Lisbon, Paper n.º 37.

Oliveira, C.S.; Víctor, L.A.M., (s/d), *Prediction of Seismic impact in a Metropolitan Area Based on Hazard analysis and*

*Microzonation – Methodology for the town of Lisbon*, Vol. 7, pp. 639-646.

Omira, R., M.A. Baptista, L. Matias, J.M. Miranda, C. Catita, F. Carrilho, and E. Toto (2009b), *Design of a Sea-level Tsunami Detection Network for the Gulf of Cadiz*, *Nat Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1327–1338.

Omira, R.; Baptista, M.A.; Mellas, S.; Leone, F.; Richemond, N.M.; Zourarah, B.; Cherel, J.P., (2012), *The November, 1st, 1755 Tsunami in Morocco: Can Numerical Modeling Clarify the Uncertainties of Historical Reports?*, Chapter XX, pp 1-16, <http://dx.doi.org/10.5772/51864>

Omira, R.; Baptista, M.A.; Miranda, J.M.; Toto, E.; Catita, C.; Catalão, J.; (2009a), *Tsunami vulnerability, assessment of Casablanca-Morocco using numerical modelling and GIS tools*, *Nat Hazards*, Casablanca, 24 september 2009.

Papathoma, M. and Dominey-Howes, D. (2003), *Tsunami vulnerability assessment and its implications for coastal hazard analysis and disaster management planning, Gulf of Corinth, Greece*, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 3, pp. 733–747, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/3/733/2003/>

PEERST-Alg, Parte I, II, III, e IV - Governo Civil do Distrito de Faro, *Plano Especial de Emergência de Protecção Civil para o Risco Sísmico e de Tsunami na Região do Algarve*, Faro, Volume I – Corpo do Plano, pp. 1-15, <http://www.gov-civil-faro.pt>

PEL - Elaboração Do Plano Estratégico Do Município De Lagos, *Plano Municipal do Turismo*, parte III e IV, (2005).

Porirua City Concil – Tsunami Evacuation Zones, <http://gis.pcc.govt.nz/PCCInvoker/poriruatsunamizones.html> , consultado a: 27-10-2013

Post, J., Wegscheider, S., Muck, M., Zosseder, K., Kiefl, R., Steinmetz, T., Strunz, G., (2009), *Assessment of Human Immediate Response Capability Related to Tsunami threats in Indonesia at a Sub-national Scale*, *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1075-1086.

Quarantelli, E.L., (1988), *Disaster studies: an analysis of the social historical factor affecting the development of research in the area*, *International Journal of Mass Emergencies*, 5(3), pp 285-310.

Quarantelli, E.L., (1994), *Research Based Criteria For Evaluating Disaster Planning And Managing*, Disaster Research Center University of Delaware. [http://www.nifv.nl/upload/179144\\_668\\_1168610952796-quarantelli-1998.pdf](http://www.nifv.nl/upload/179144_668_1168610952796-quarantelli-1998.pdf)

Raskin, J., Wang, Y., Boyer, M., Fiez, T., Moncada, J., Yu, K., Yeh, H., (2011). *An evacuation building project for Cascadia earthquakes and tsunamis*. *Obras y Proyectos* 9, pp 11-22.

Renou, C.; Lesne, O.; Mangin, A.; Rouffi, F.; Atilah, A.; El Hadani, D.; Moudni, H., (2011), *Tsunami hazard assessment in the coastal area of Rabat and Salé, Morocco*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11, 2181-2191, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/11/2181/2011/nhess-11-2181-2011.html>.

Ribeiro, M.J.M., (2006), *Gestão do Risco Sísmico, Análise de Risco Sísmico e Gestão de Emergência*, Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa.

Rio, I., P.T. Costa, J. Almeida e L.A.M. Victor (2003), *Risco Sísmico na Cidade de Lagos*, ICTE, Lisboa.

Rodriguez, J.; Queirós, M.; Henriques, E.B.; Palma, P.; Vaz, T., (2007), *Estudo do Risco Sísmico e Tsunamis no Algarve (ERSTA). Aspectos Metodológicos da Determinação das Vulnerabilidades Humanas*, Lisboa, VI Congresso da Geografia Portuguesa, 17-20 de outubro de 2007, Centro de Estudos Geográficos. Faculdade de Letras da U.L. pp. 1-15.

Rosas F.M., J.C., Duarte, P., Terrinha, V. Valadares, L.M. Pinheiro, L. Matias, V. Magalhães, C. Roque (2010), *Crescent-shaped morphotectonic features in the Gulf of Cadiz (offshore SW Iberia)*. *Marine Geology*, 271, pp 236-249.

Şalap, S., Ayça, A., Akyuerk, Z., Yalçiner, A. C., (2011), *Tsunami Risk Analysis and Disaster Management by Using GIS: A Case Study in Southwest Turkey, Göcek Bay Area*, *AGILE*, pp. 18-22



- Scheer, S.; Gardi, A.; Guillande, R.; Eftichidis, G.; Varela, V.; Vanssay, B.; Colbeau-Justin, L.; (2011), *Manual de Planificação de Evacuação por Tsunami*, SCHEMA – Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management (Cenários de Risco para Gestão de Emergências) Projecto nº 030963, Projecto de Investigação Especificamente Orientado, Prioridade Espacial, Luxemburgo, Gabinete de Publicações da União Europeia, Annalisa Gardi, Geosciences Consultants, Paris, Impresso em Itália, pp. 1-54, <http://ipsc.jrc.ec.europa.eu/>, <http://www.jrc.ec.europa.eu/>
- Shahabi, K., (2012), Enabling Intelligent Location-Based Evacuation Routing, ESRI, summer 2012, pp. 26-29.
- Shuster, M., Gomez, C., (2013), *Evacuation Routing Out of Tsunami Hazard Zones*, GI\_Forum 2013. Creating the GISociety, Berlim, pp. 206-215.
- Sumaryono (2010), *Assessing Building Vulnerability to Tsunami Hazard using Integrative Remote Sensing And GIS Approachs, dissertação*, Faculdade de Geociências da Universidade de Munique.
- Thywissen, K. (2006), *Components of Risk – Comparative Glossary*, United Nations University Institute of Environment and Human Security.
- Treadgold, N.K. and T.D. Gedeon (1997), *Extending CasPer: A Regression Survey*, Int. Conf. On Neural Information Processing, University of New South Wales, Sydney.
- Uva, J.S.; Marques, M.; Da Silva, T.P.; Amaral, P.; Moreira, J.; Rodrigues, M.; Conde, C.; Malha, A., (2010), *PMEPC – Plano Municipal de Emergência de Protecção Civil de Lagos*, Parte 1 – Enquadramento geral do plano da Câmara Municipal de Lagos, 18 de Março 2010.
- Vicente, R.; Parodi, S., Logomarsino, S., Varum, H., Da Silva, J.A.R.M., (2008) *Seismic Vulnerability Assesement, Damage Scenarios and Loss Estimation, Case study of the old city centre of Coimbra, Portugal*, Beijing, 14 WCEE, October 12-17,
- Vicente, R., Varum, H.; Da Silva, J.A.R.M.; Lagomarsino, S.; Parodi, S., (2007), *Metodologia de Avaliação da Vulnerabilidade Sísmica de Edifícios Antigos à Escala do Centro Histórico*, Coimbra, Sísmica 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FCT-Fundação para a Ciência e Tecnologia, pp 1-12.
- Vitor, L. M., (2006), *Risco Sísmico Centro Histórico de Lagos*, Centro Europeu de Riscos Urbanos (EUR-OPA), pp 128.
- Vogel, C. and K. O'Brien (2004), *Vulnerability and Global Environmental Change: Rhetoric and Reality*, AVISO – Information Bulletin on Global Environmental Change and Human Security, 13.
- Wellington City Tsunami Evacuation Zones - <https://koordinates.com/layer/1701-wellington-city-tsunami-evacuation-zones/>, consultado a: 27-10-2013
- Wisner, B., (2002), *Who? What? Where? When? in an emergency: notes on possible indicators of vulnerability and resilience: by phase of the disaster management cycle and social actor*, Environment and Human Security: Contributions to a Workshop in Bonn, Germany, pp. 12/7–12/14.
- Zêzere, J.L., Ramos-Pereira, A., Morgado, P., (2007), *Perigos Naturais em Portugal e Ordenamento do Território. E depois do PNPOT? Geophilia - O sentir e os sentidos da Geografia*, C.E.G., Lisboa, p.529-542.



## ANEXOS

ANEXO 1 – Tabelas de descrição de atributos da informação geográfica.

ANEXO 2 – Cartas de Rotas de Evacuação (12 simulações).

ANEXO 3 – Tabela de correspondência entre as subsecções estatísticas da área de estudo (Código BGRI) e Abrigos, a partir do cálculo do caminho mais próximo (*Closest Facility*).

ANEXO 4 – Nível de danos em edifícios (escala adaptada pelo projecto SCHEMA) e Exemplos de danos em edifícios, associados à matriz de danos proposta na Tabela anterior.

ANEXO 5 – Artigo: Risco de tsunami em Lagos – Rotas de evacuação. Publicado pela 8ª Assembleia Luso Espanhola de Geodesia e Geofísica

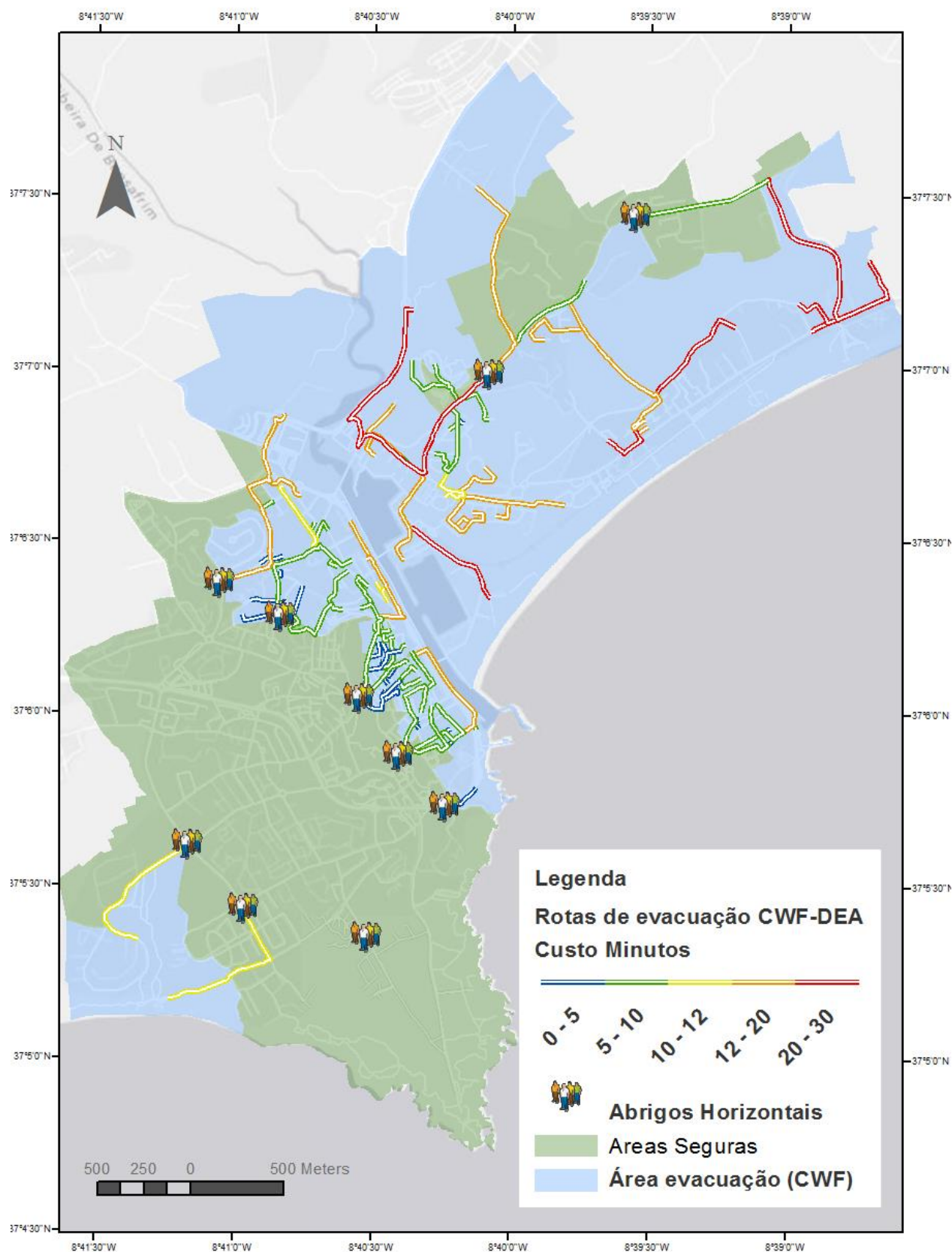
## ANEXO 1

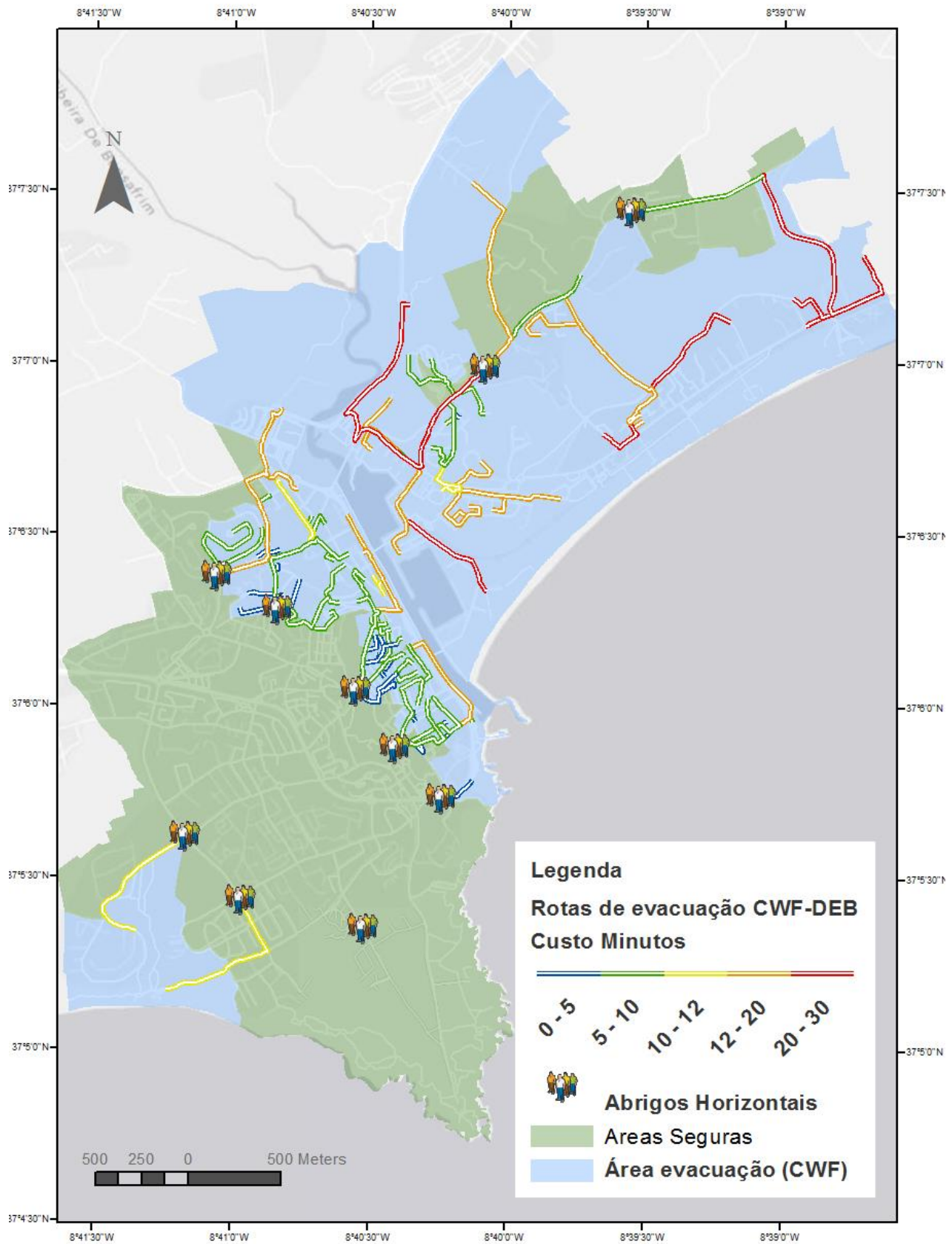
Área de Estudo (LAGOS)	
Atributos	Descrição
FID	Identificador nativo
Shape	Tipo de shape: Polígono
Shape_Length	Perímetro
Shape_Area	Área
BGRI11*	Código BGRI 2011 (chave primária)
LUG11DESIG	Designação Lugar
NIVEL_DSG	Nível de desagregação
N_EDIFICIO	Número de Edifícios da subsecção
EXCLUSIV_R	Número de Edifícios exclusivamente residencial
PRINCIPAL	Número de Edifícios residencia principal
NAO_RESID	Número de Edifícios não residencial
1OU2_PISOS	Número de Edifícios com um ou dois pisos
3OU4_PISOS	Número de Edifícios com três ou quatro
5OU MAIS_PISOS	Número de Edifícios com cinco ou mais pisos
ANTES_1919	Número de Edifícios contruídos antes de 1919
A_1945	Número de Edifícios contruídos entre 1919 e 1945
A_1960	Número de Edifícios contruídos entre 1945 e 1960
A_1970	Número de Edifícios contruídos entre 1960 e 1970
A_1980	Número de Edifícios contruídos entre 1970 e 1970
A_1990	Número de Edifícios contruídos entre 1980 e 1990
A_1995	Número de Edifícios contruídos entre 1990 e 1995
A_2000	Número de Edifícios contruídos entre 1995 e 2000
A_2005	Número de Edifícios contruídos entre 2000 e 2005
A_2011	Número de Edifícios contruídos entre 2005 e 2011
BETAO	Número de Edifícios com material de construção Betão
COM_PLACA	Número de Edifícios com material de construção Alvenaria com Placa
SEM_PLACA	Número de Edifícios com material de construção Alvenaria sem Placa
ADOBE_PEDRA	Número de Edifícios com material de construção Adobe/Taipas
ESTRUT_OUTRO	Número de Edifícios construído com outros materiais
N_ALOJAMENTOS	Número de Edifícios não alojamento
RES_HABIT	Número de Edifícios do tipo residencia habitual
VAGOS	Número de Edifícios Vagos
PROP_OCUP	Proporção de ocupação
PRESENTE	População Presente
RESIDENTES	População Residente
RES_0A4	População Residente com menos de 4 anos de idade
RES_5A9	População Residente com idade entre os 5 e os 9 anos
RES_10A13	População Residente com idade entre os 10 e os 13 anos
RES_15A19	População Residente com idade entre os 15 e os 19 anos
RES_20A24	População Residente com idade entre os 20 e os 24 anos
RES_20A64	População Residente com idade entre os 20 e os 64 anos
RES_65	População Residente com mais de 65 anos de idade
CLASS_MAT	Classificação do edificado quanto ao material de construção

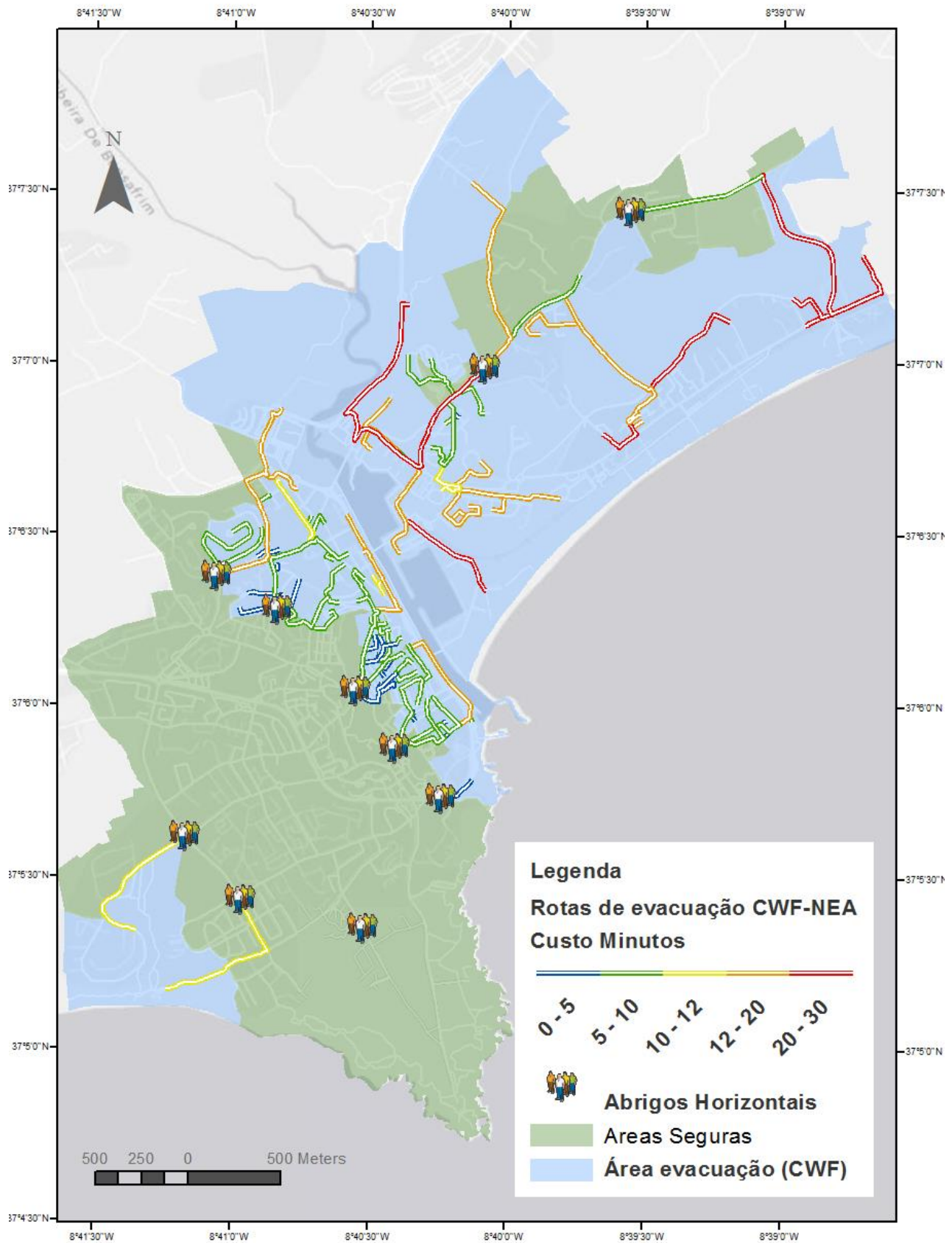
CLASS_IDD	Classificação do edificado quanto à época de construção
C_MAT_IDD	Classificação par Material-Idade
FACT_PISO	Factor de agravamento/desagravamento Piso
IVTE_MED	
MED_PBF	Média (grid value - altura da onda em metros) cenário PBF
MED_HSMP	Média (grid value - altura da onda em metros) cenário HSMP
MED_CWF	Média (grid value - altura da onda em metros) cenário CWF
EMS98	Classificação da vulnerabilidade estrutural do edificado pela escala EMS98
Fc_PBF	Factor de classificação do cenário PBF
Fc_HSMP	Factor de classificação do cenário HSMP
Fc_CWF	Factor de classificação do cenário CWF
IVTE_PBF	Índice de vulnerabilidade a tsunamis do edificado do cenário PBF
IVTE_HSMP	Índice de vulnerabilidade a tsunamis do edificado HSMP
IVTE_CWF	Índice de vulnerabilidade a tsunamis do edificado CWF
Perc_m14	Proporção de população residente 0-14
Perc_M65	Proporção de população residente ≥65
Perc_H	Proporção de população residente do sexo masculino
Perc_M	Proporção de população residente do sexo femininos
Dens_POP	Densidade Populacional
Fc_m14	Factor de classificação da população residente 0-14
Fc_M65	Factor de classificação da população residente ≥65
Perc15a65	Proporção de população residente 15-64
Fc_15a64	Factor de classificação da população residente 15-64
P1	Factor de vulnerabilidade P1 - Estrutura Etária
Fc_M	Factor de classificação população residente do sexo masculino
Fc_H	Factor de classificação população residente do sexo femininos
P2	Factor de vulnerabilidade P2 – Genero
P3	Factor de vulnerabilidade P3 - Densidade Populacional
IVP	Índice De Vulnerabilidade Da População
Tipo_de_Area	Tipo de área (Crítica ou Segura)

VIAS	
Atributos	Descrição
OBJECTID*	Identificador Único
Shape	Tipo de shape: Linha
TYPE	Tipologia do troço da via
NAME	Nome da rua/av./estrada
ONEWAY	Sentido único
LANES	Número de faixas de rodagem
HSMP_intrans	Troço intransitável por barreira no cenário de inundação HSMP
PBF_intrans	Troço intransitável por barreira no cenário de inundação PBF
CWF_intrans	Troço intransitável por barreira no cenário de inundação CWF
FT_minutos	Tempo de deslocação em minutos no sentido de digitalização do troço
TF_minutos	Tempo de deslocação em minutos no sentido de digitalização do troço
shape_Length	Comprimento do troço
Speed	Velocidade
Pontos críticos	
Atributos	Descrição
POP_a_Evac	População total a ser evacuada
DEA	População a ser evacuada Cenário Diurno-Época Baixa
NEA	População a ser evacuada Cenário Nocturno-Época Baixa
DEB	População a ser evacuada Cenário Diurno-Época Alta
NEB	População a ser evacuada Cenário Nocturno-Época Alta
Rotas de Evacuação	
Atributos	Descrição
ObjectID	Identificador Único
EvcName	Código BGRI da subsecção de origem
Abrigo	Nome do Abrigo de destino
EvcCost	Custo da evacuação em minutos
POP	População evacuada

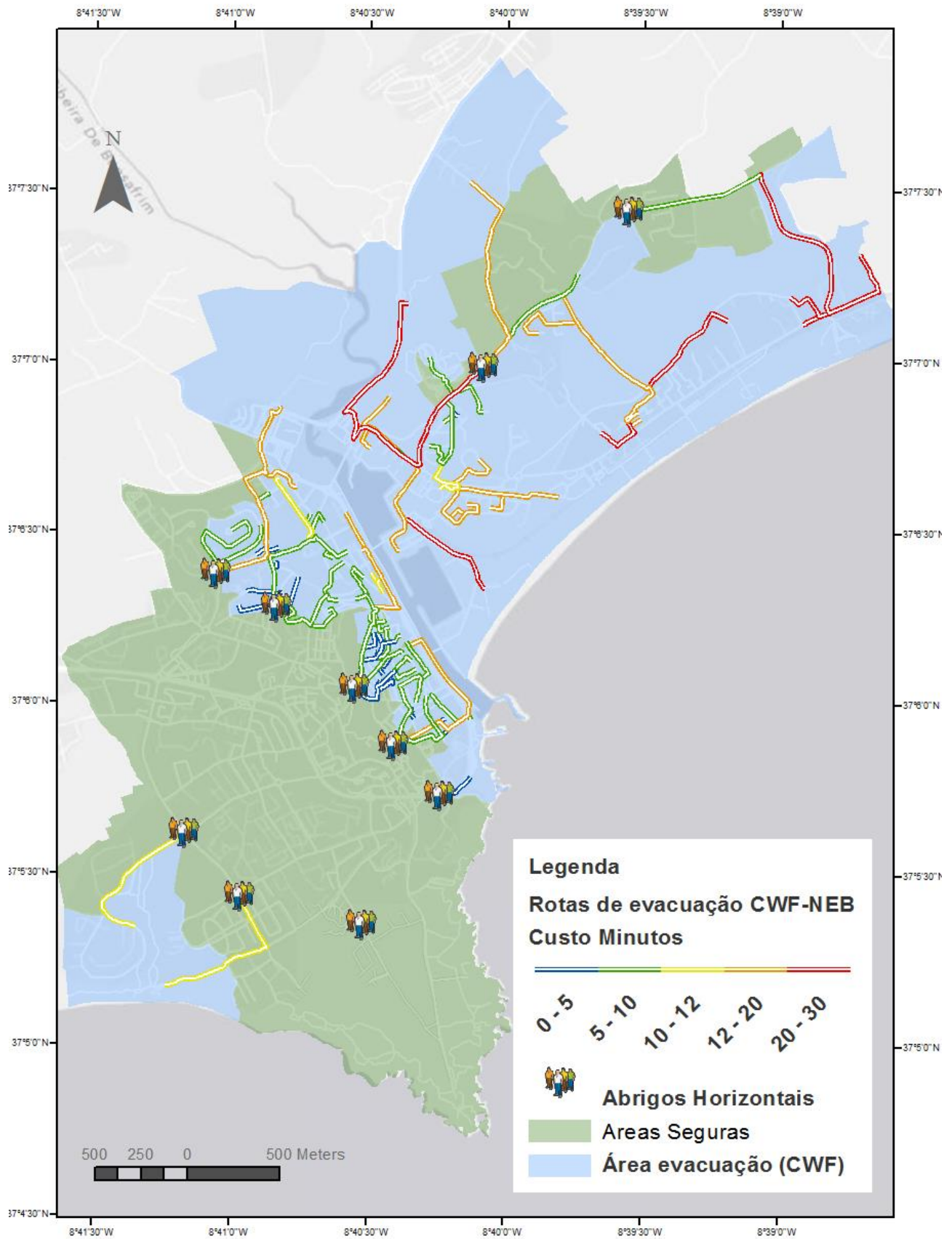
## ANEXO 2



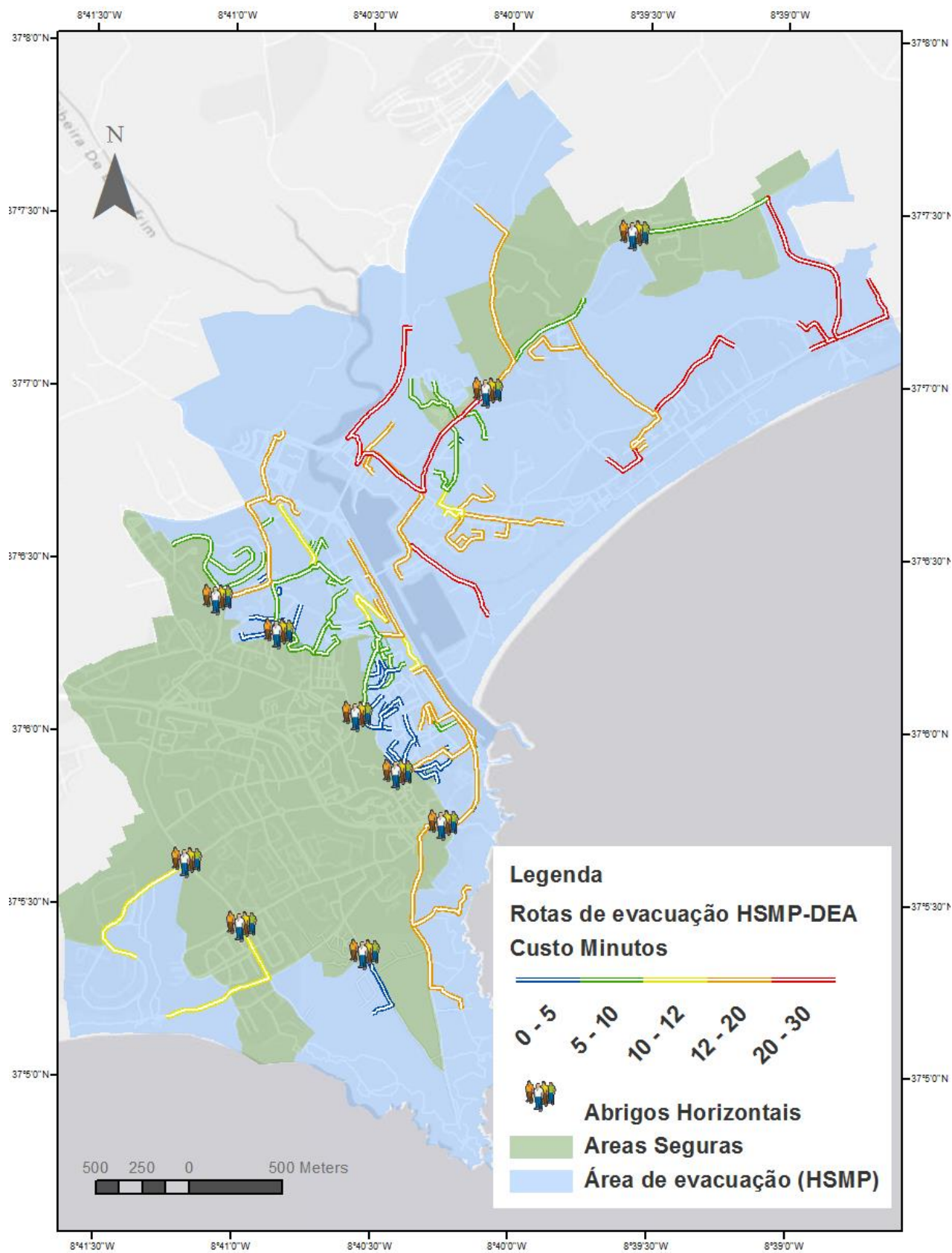


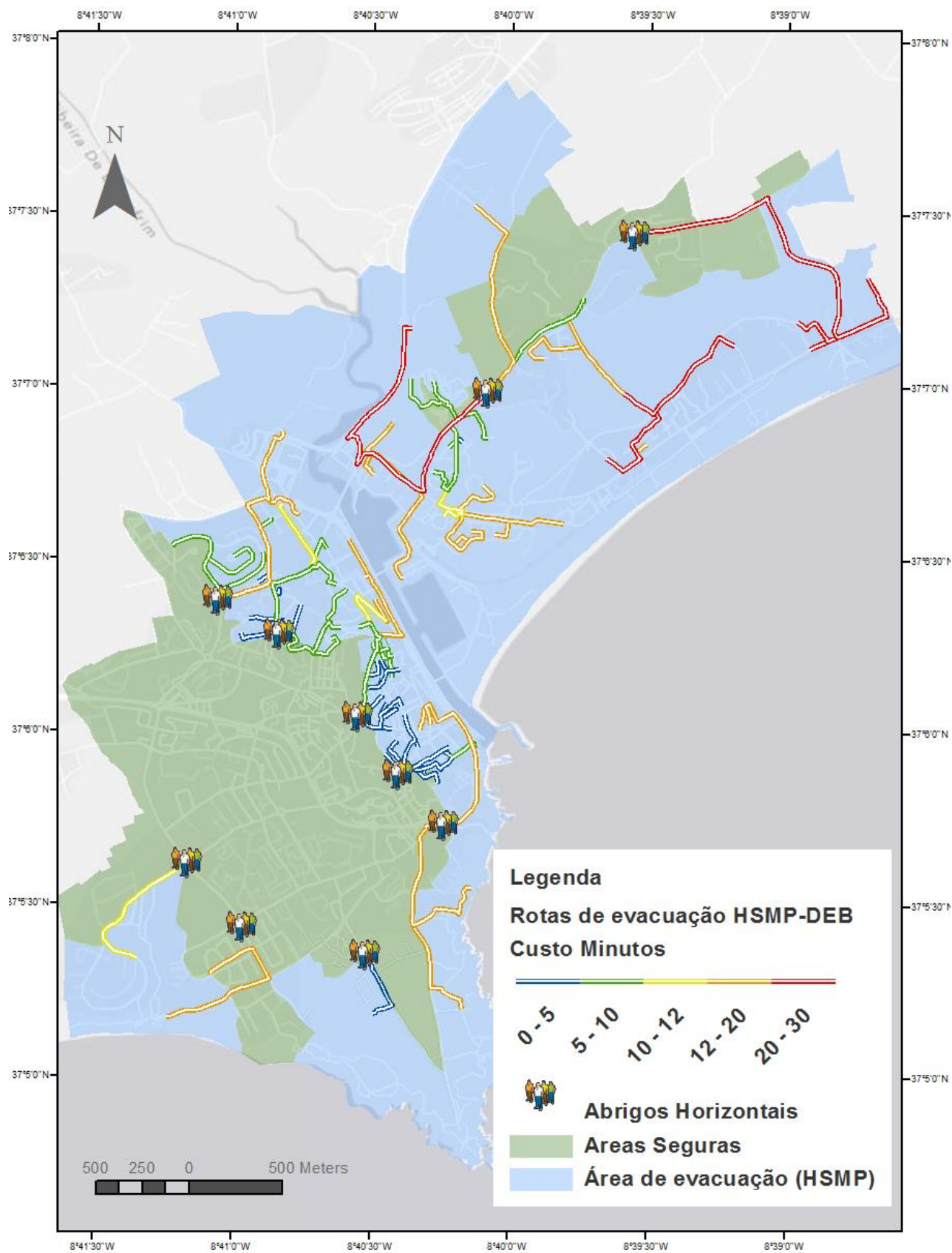


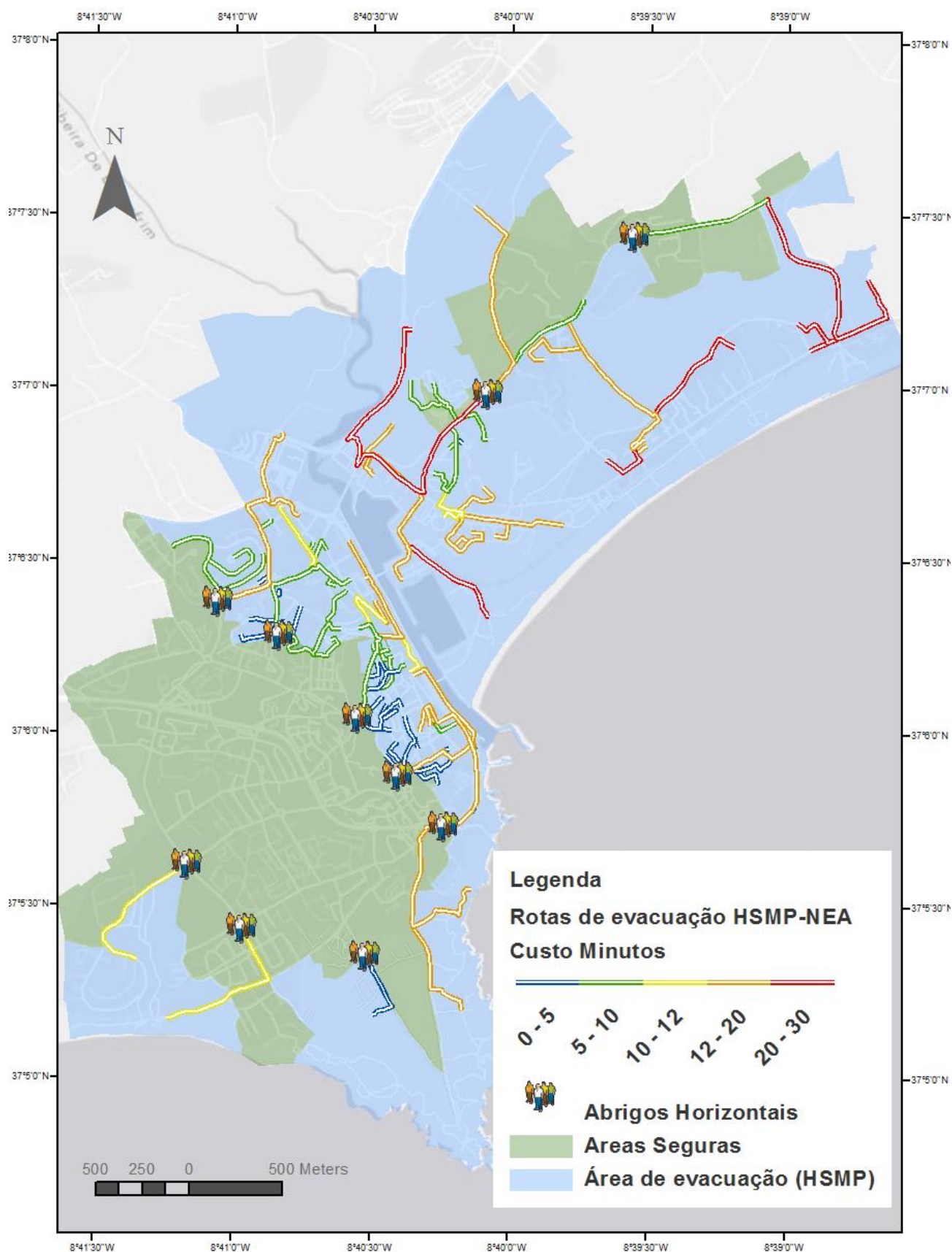




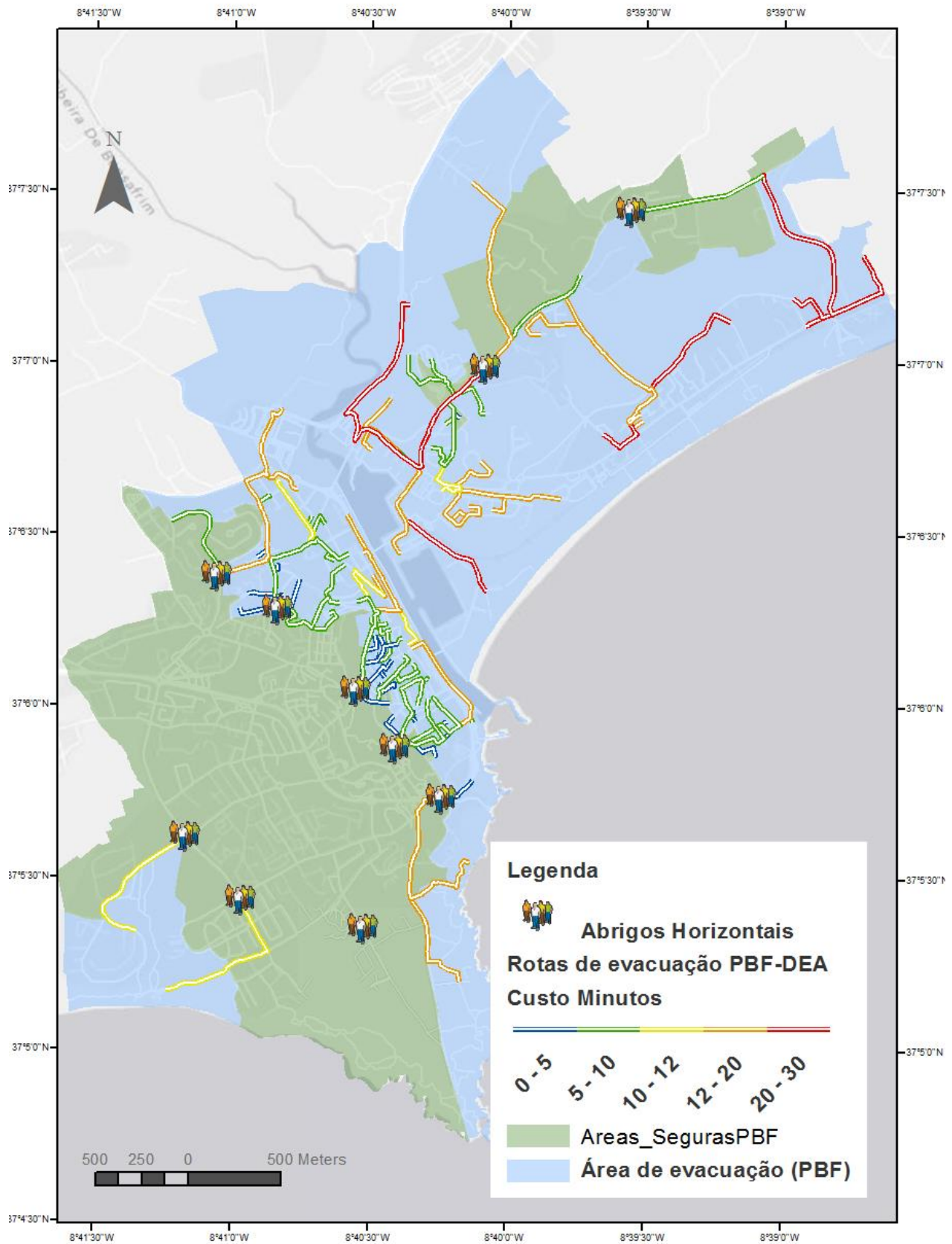


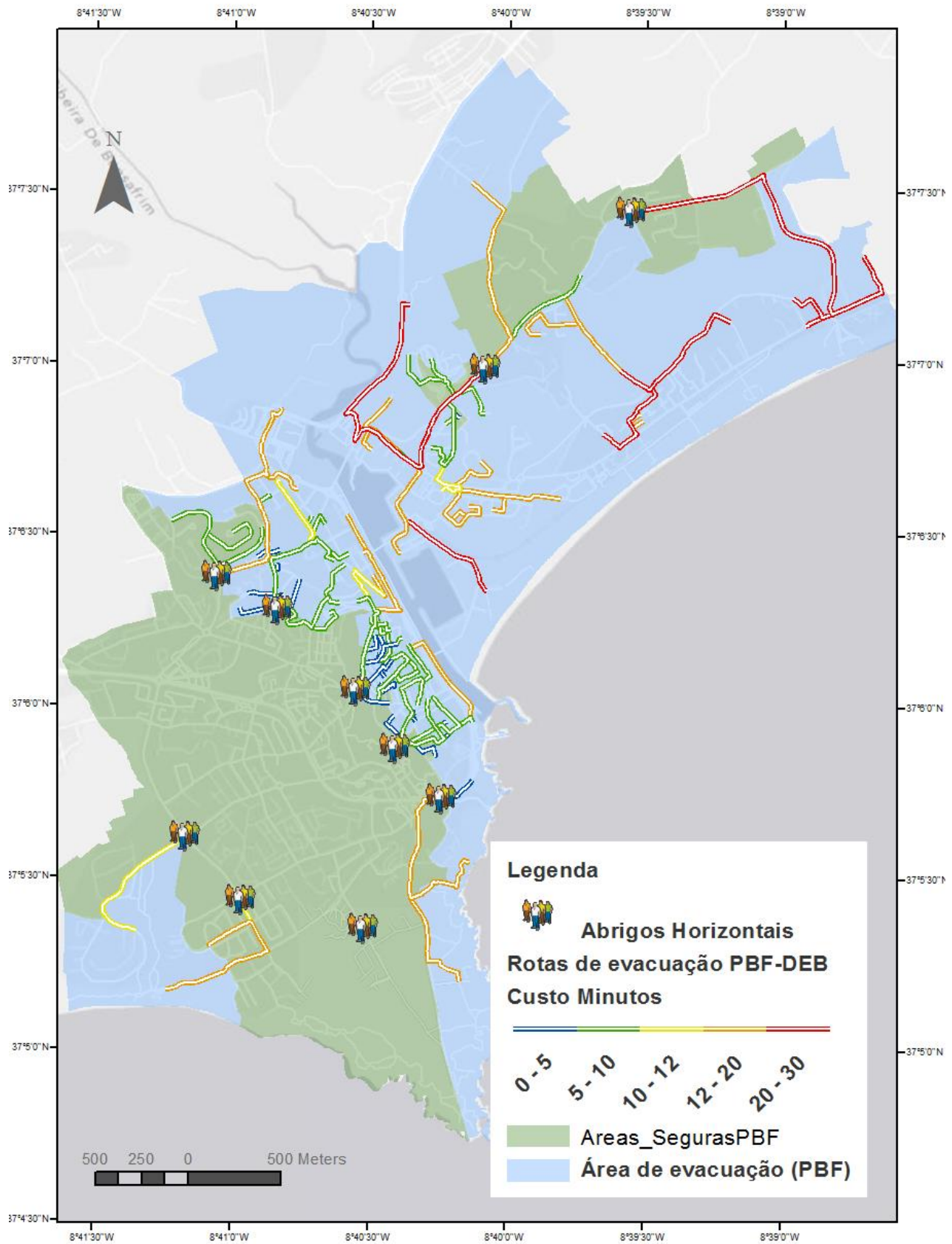


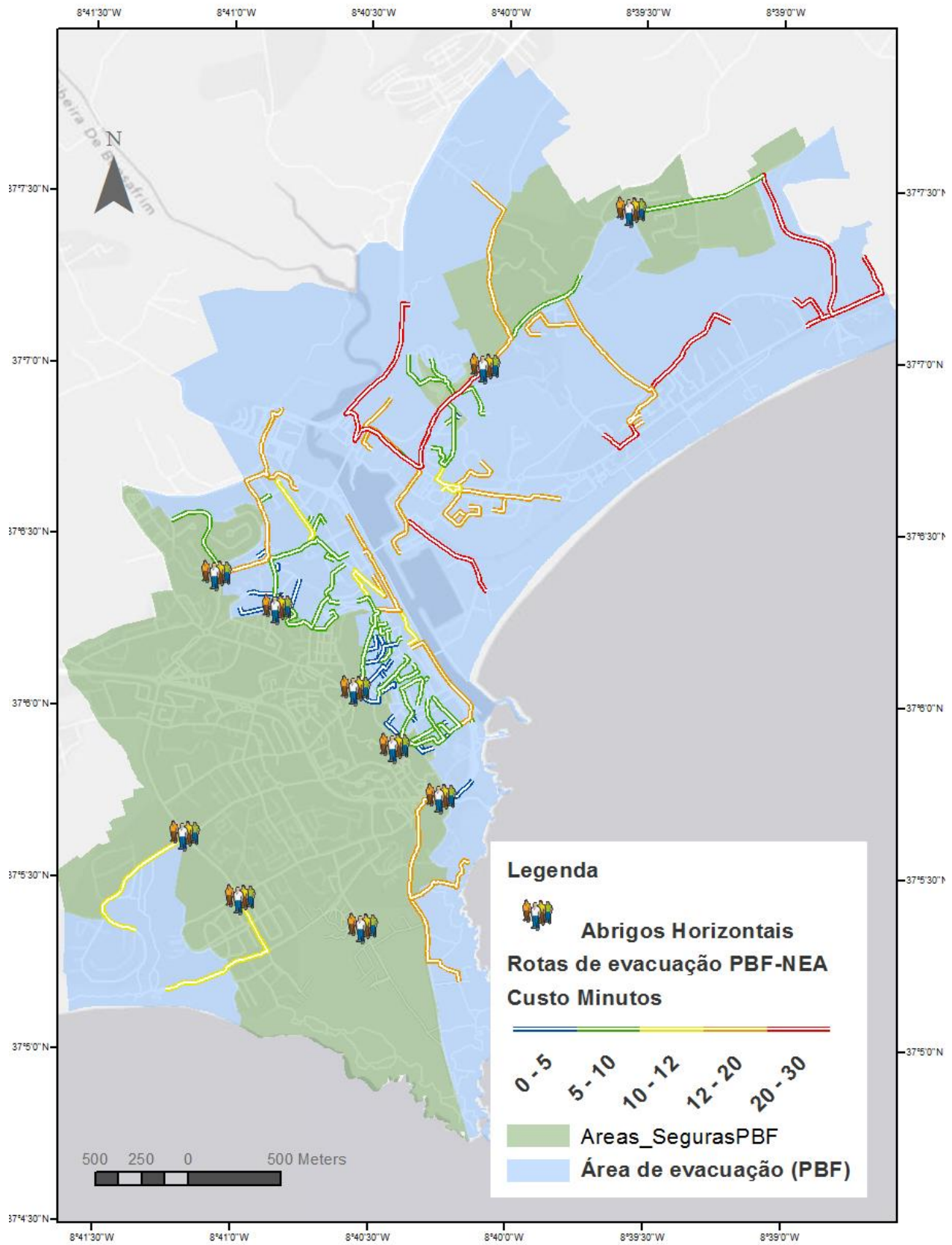




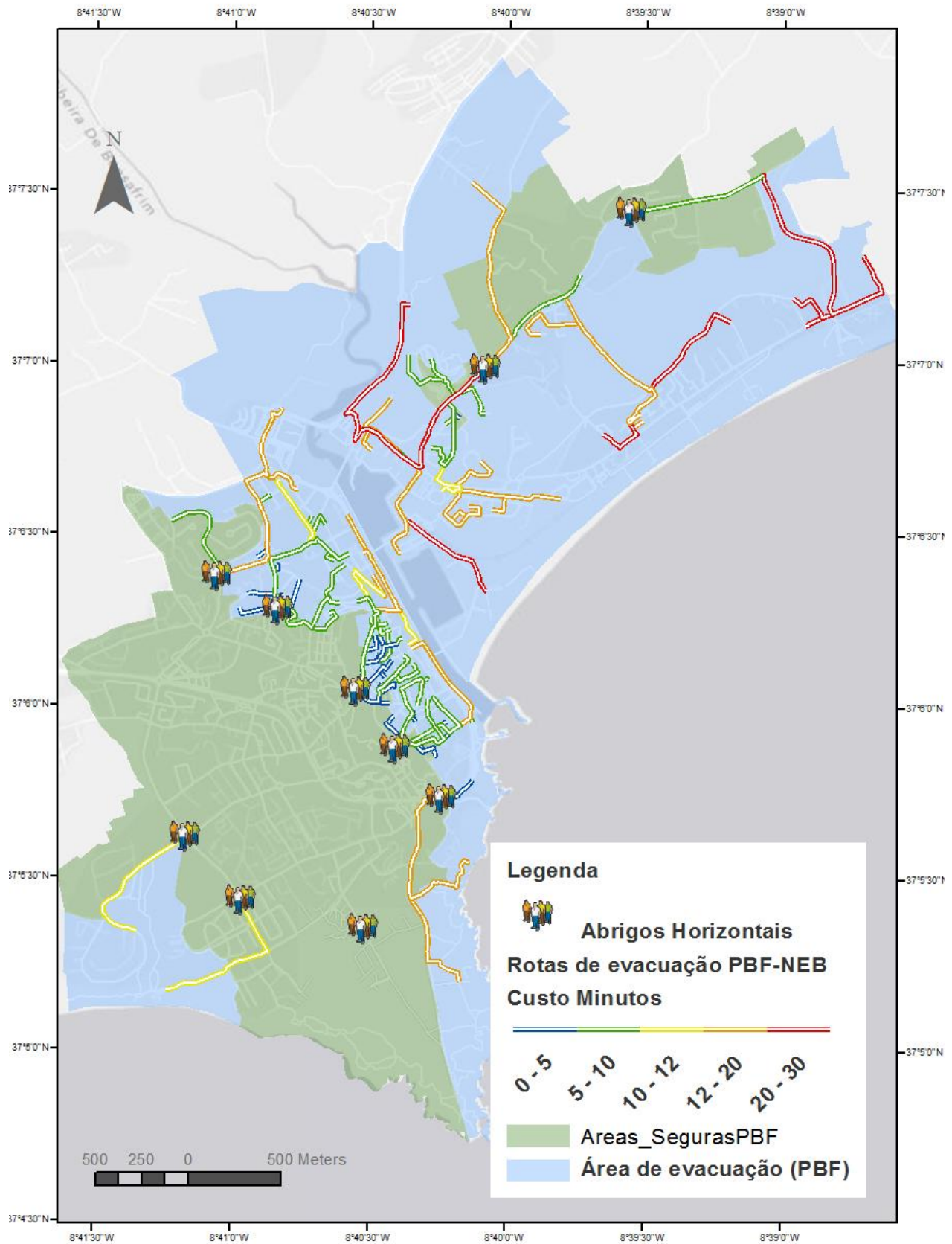
















## ANEXO 3

08070400605 - AH10	08070501007 - AH5	08070601111 - AVA2	08070601808 - AV1
08070400610 - AvA4	08070501201 - AH5	08070601112 - AVA2	08070601809 - AV1
08070500113 - AH1	08070501718 - AH2	08070601113 - AVA2	08070601901 - AH7
08070500201 - AV2	08070501908 - AH3	08070601114 - AVA2	08070602007 - AH6
08070500202 - AH4	08070600404 - AH9	08070601115 - AVA2	08070602009 - AH6
08070500203 - AH4	08070600408 - AH9	08070601116 - AVA2	08070602010 - AH6
08070500204 - AH4	08070600410 - AH9	08070601117 - AVA2	08070602012 - AH6
08070500301 - AV2	08070600411 - AH9	08070601201 - AVA1	08070602013 - AH6
08070500302 - AV2	08070600413 - AH9	08070601202 - AV1	08070602101 - AV1
08070500303 - AV2	08070600414 - AH9	08070601203 - AH7	08070602102 - AV1
08070500304 - AV2	08070600604 - AH8	08070601204 - AH7	08070602103 - AV2
08070500305 - AV2	08070600605 - AH8	08070601205 - AV1	08070602104 - AV2
08070500306 - AV2	08070600606 - AH8	08070601206 - AV1	08070602105 - AV1
08070500307 - AH6	08070600607 - AH8	08070601207 - AH7	08070602106 - AV2
08070500308 - AH6	08070600608 - AH7	08070601208 - AV1	08070602107 - AV1
08070500309 - AH6	08070600609 - AH8	08070601209 - AH7	08070602108 - AV1
08070500310 - AH6	08070600610 - AH8	08070601210 - AV1	08070602109 - AV1
08070500311 - AV2	08070600611 - AH8	08070601211 - AV1	08070602110 - AV1
08070500701 - AV2	08070600701 - AVA4	08070601303 - AH8	08070602111 - AV1
08070500702 - AV2	08070600702 - AVA3	08070601401 - AH8	08070602112 - AV2
08070500703 - AV2	08070600703 - AVA2	08070601402 - AH8	08070602113 - AV1
08070500704 - AV2	08070600704 - AVA3	08070601403 - AH7	08070602114 - AV1
08070500705 - AV2	08070600705 - AVA3	08070601404 - AH7	08070602115 - AH6
08070500706 - AV2	08070600706 - AV4	08070601405 - AH7	08070602116 - AV1
08070500707 - AV2	08070600707 - AVA3	08070601406 - AH7	08070602117 - AH6
08070500708 - AV2	08070600708 - AVA3	08070601407 - AH7	08070602118 - AH6
08070500709 - AV2	08070600801 - AH9	08070601501 - AH7	08070602119 - AH6
08070500710 - AH5	08070600802 - AVA2	08070601502 - AH7	08070602120 - AH6
08070500711 - AV2	08070600803 - AH9	08070601503 - AH7	08070602121 - AH6
08070500712 - AH5	08070601001 - AH9	08070601504 - AH7	08070602122 - AH6
08070500713 - AV2	08070601002 - AH8	08070601505 - AH7	08070602123 - AH6
08070500714 - AH5	08070601003 - AH9	08070601601 - AV1	08070602201 - AV1
08070500715 - AV2	08070601004 - AH9	08070601602 - AV1	08070602202 - AV1
08070500716 - AH4	08070601005 - AH9	08070601603 - AV1	08070602203 - AV1
08070500717 - AH5	08070601006 - AH7	08070601605 - AV1	08070602204 - AV1
08070500718 - AV2	08070601007 - AH7	08070601606 - AV1	08070602205 - AV1
08070500719 - AV2	08070601103 - AH9	08070601607 - AV1	08070602206 - AV1
08070500720 - AV2	08070601104 - AH9	08070601608 - AV1	08070602207 - AV1
08070501001 - AH6	08070601105 - AV3	08070601610 - AV1	08070602208 - AH6
08070501002 - AH6	08070601106 - AV3	08070601801 - AH7	08070602209 - AV1
08070501003 - AV2	08070601107 - AVA1	08070601802 - AH7	08070602210 - AV1
08070501004 - AV2	08070601108 - AH9	08070601803 - AV1	<b>AH - Abrigo Horizontal</b> <b>AV - Abrigo Vertical</b> <b>AVA - Abrigo Vertical Alternativo</b>
08070501005 - AH5	08070601109 - AV3	08070601804 - AV1	
08070501006 - AH5	08070601110 - AV3	08070601806 - AV1	

## ANEXO 4

### Nível de danos em edifícios (escala adaptada pelo projecto SCHEMA)

Nível de danos	Danos na estrutura	Utilização como abrigo / utilização pós-crise	Detecção por observação via satélite
<b>D0</b> Sem danos	Sem danos significativos	Abrigo / ocupação imediata	Sem sinais de danos visíveis no edifício e envolvente.
<b>D1</b> Danos ligeiros	Sem danos estruturais – danos menores, reparáveis: <i>destacamento de estuque, fissuração ligeira, danos em janelas e portas.</i>	Abrigo / ocupação imediata	Quase imperceptível
<b>D2</b> Danos importantes	Danos importantes mas não estruturais: <i>deslocamento ou colapso de paredes ou painéis sem comprometer a integridade estrutural, deixando as fundações parcialmente expostas.</i>	Evacuação / Não adequado para ocupação imediata, adequado após reparações	Danos na cobertura pouco visíveis. Outros danos não visíveis.
<b>D3</b> Danos graves	Danos estruturais que podem afectar a estabilidade do edifício: <i>deslocamento ou colapso de alvenaria, colapso parcial de pisos, fissuração grave e colapso de secções da estrutura devido a assentamentos.</i>	Evacuação / Demolição requerida, uma vez que é inadequado para ocupação	Danos não visíveis ou pouco visíveis, se as coberturas não tiverem sido removidas.
<b>D4</b> Colapso parcial	Danos graves que comprometem a integridade estrutural, colapso parcial do edifício	Evacuação / Demolição total requerida	Visível
<b>D5</b> Colapso	Colapso total: <i>fundações e lajes visíveis e expostas</i>	Evacuação	Bastante visível

Exemplos de danos em edifícios, associados à matriz de danos proposta na Tabela anterior.  
As fotos são do tsunami de 2004 no Oceano Índico (fontes: projecto SCHEMA)



## Risco de tsunami em Lagos – Rotas de evacuação

### *Tsunami risk in Lagos – Evacuation routes*

André Trindade<sup>(1)</sup>, Cristina Catita<sup>(1,2)</sup>, Maria Ana Baptista<sup>(2,3)</sup> e Paula Teves-Costa<sup>(1,2,4)</sup>

<sup>(1)</sup> FCUL - DEGGE, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8, 1749-016 Lisboa, [andretrindade@yahoo.com](mailto:andretrindade@yahoo.com)

<sup>(2)</sup> IDL - Instituto Dom Luiz, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Edifício C8, 1749-016 Lisboa, [cmcatita@fc.ul.pt](mailto:cmcatita@fc.ul.pt)

<sup>(3)</sup> Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa, [mavbaptista@gmail.com](mailto:mavbaptista@gmail.com)

<sup>(4)</sup> CERU – Centro Europeu de Riscos Urbanos, Av. Elias Garcia 7 – 2º, 1000-146 Lisboa, [ptcosta@fc.ul.pt](mailto:ptcosta@fc.ul.pt)

#### SUMMARY

*The Algarve coast, namely the city of Lagos, has historically been affected by devastating natural hazards including earthquakes and tsunamis. It becomes imperative to study the vulnerability, as well as finding ways to increase the level of resilience and adaptive capacity of populations. Risk assessment is a multidisciplinary area, and generally should have a spatial representation in map form achieved using GIS tools. This paper as part of an interdisciplinary research project, aims to develop in a GIS environment, evacuation routes and locations of shelters in case of tsunami in order to increase the resilience level mitigating the tsunami risk. The results in form of maps should be useful for decision makers and local authorities in the planning and management of emergency situations.*

## 1. INTRODUÇÃO

No âmbito do projecto VULRESADA, coordenado pelo Centro Europeu de Riscos Urbanos (CERU), tem estado a ser realizado um estudo sobre a redução das vulnerabilidades em Lagos, face ao risco sísmico e de tsunami. Após uma primeira fase de identificação da perigosidade sísmica e da elaboração de cenários de tsunami, realizaram-se vários estudos sobre a vulnerabilidade da população, a vulnerabilidade do edificado e medidas para minimizar o risco e aumentar a resiliência da população.

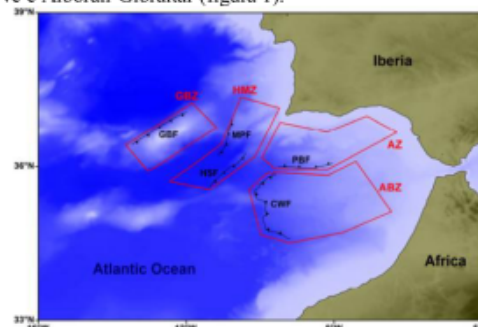
Apresenta-se neste trabalho uma síntese do estudo desenvolvido numa tese de mestrado, onde se elaboraram rotas de evacuação e a identificação de locais seguros para a população no caso da ocorrência de tsunami.

O território de Portugal continental revela uma elevada susceptibilidade à ocorrência de sismos e tsunamis, tanto pela sua localização junto uma margem continental de orientação norte-sul, relacionada com a abertura do Atlântico Norte, como pela sua proximidade e posição relativamente à Zona de Fractura Açores-Gibraltar, (limite entre as placas litosféricas Euroasiática e Africana). Esta região foi designada por AT2- “Atlantic” no catálogo Genesis and Impact of Tsunamis on the European Coasts (GITEC) e estende-se dos Açores ao estreito de Gibraltar, (Baptista, 1998).

Nesta região definiram-se zonas de geração de grandes sismos e tsunamis que afectam a faixa costeira portuguesa. A secção central da Zona de Fractura dos Açores-Gibraltar (ZGAF) é constituída pela zona de fractura Falha da Glória na qual já foram relatados dois sismos tsunamigénicos (25 de Novembro de 1941 e 26 de Maio de 1975) de amplitude máxima em Lagos. O Banco de Gorringe é a região leste da ZGAF situado entre a planície Abissal do Tejo a Norte e a planície Abissal de Ferradura a Sul. Fora encontradas na documentação histórica, referências ao tsunami do ano de 60 a.c. gerado por um sismo com epicentro provável nesta zona, outro no ano de 382 d.c. que gerou um tsunami observado ao largo do cabo de S. Vicente, um tsunami a 24 de agosto de 1356 e por último um sismo que também gerou o tsunami de amplitude reduzida de 28 de fevereiro de 1969.

A Margem Sudoeste Ibérica localiza-se ao longo da costa Sul do Algarve estendendo-se para leste até Gibraltar. A Falha do Banco de Portimão está incluída nesta zona que possui sismicidade frequente. A Zona do Prisma Acrecionário de Gibraltar-Alboran inclui a falha do Golfo de Cadiz, que actualmente aparenta estar inactiva. A Zona das falhas de Ferradura e Marquês de Pombal que se situa entre a zona do Banco de Gorringe e as zonas Sul algarvia e o Prisma acrecionário de Gibraltar-Alboran, é considerada como a fonte mais provável do evento de 1755. A zona SWIT

(SouthWest Iberian Transpressive Domain) é composta por um conjunto de falhas de desligamento, que se estendem entre a falha da Glória e NW de Marrocos. A SWIT engloba como sub-regiões as zonas do Banco de Gorringe, Ferradura/Marques, Sul do Algarve e Alboran-Gibraltar (figura 1).



**Figura 1 – Potenciais zonas tsunamigénicas a sudoeste da Ibéria e falhas típicas.** GBZ: Zona do Banco de Gorringe; HMZ: Zona de Ferradura/Marques de Pombal; AZ: Zona Sul do Algarve; ABZ: Prisma acrecionário de Gibraltar-Alboran; GBF: Falha do Banco de Gorringe; MPF: Falha de Marquês de Pombal; HSF: Falha de Ferradura; PBF: Falha do Banco de Portimão; e a CWF: Falha do Golfo de Cadiz. Fonte: Omira, et al., (2009). (Potential tsunamic areas southwest of Iberia and typical failures)

O problema da localização de Portugal na proximidade de fontes sismogénicas e tsunamigénicas vai entroncar-se com outro problema que consiste na forte urbanização da faixa costeira do país. A cidade de Lagos pode ser considerada uma *Natural Hazard Area* como o demonstram os estudos geotectónicos e a sua história sísmica e tectónica.

A vulnerabilidade a tsunami exprime a capacidade que determinado elemento tem para resistir ou ser afectado pelo evento geofísico, sendo condicionada pela acção do sismo de determinada severidade. A estratégia de evacuação pode ser encarada como etapa da gestão do risco tanto numa fase de preparação, aumentando a capacidade de resposta e consequentemente a resiliência da população e na fase de resposta associada ao domínio da gestão da emergência. Enquanto a fase de preparação passa principalmente pela antecipação do desastre, a gestão de emergência possui um carácter reactivo, de resposta imediata ao evento danoso.

Com este trabalho procurou-se conhecer a vulnerabilidade tanto do edificado como da população e, a partir destas, com recurso a ferramentas SIG, delinear uma rede de rotas de evacuação e localizar locais seguros de abrigo.



## 2. TRATAMENTO E PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS

A informação alfanumérica sobre as características do edificado/alojamento e população foi extraída da base de dados dos Censos 2011 disponibilizada pelo INE (Instituto Nacional de Estatística). A informação cartográfica (dados vectoriais georreferenciados) foram extraídos da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) na sua versão actual de 2013 (formato *shapefile*) e das cartas em Modelo Numérico Topo-Cartográfico (MNTC) 1: 2 000 (formato *dgn*) fornecidas pela AMAL (Associação de Municípios do Algarve). O maior nível de desagregação possível dos dados provenientes dos Censos é a subsecção estatística, o qual foi adoptado como unidade territorial de trabalho.

A área de estudo seleccionada para este trabalho não se restringe somente ao centro histórico da cidade de Lagos, mas abrange também as faixas litorais (Baía de Lagos) das antigas freguesias de São Sebastião e Santa Maria, actual União das freguesias de Lagos até à Meia Praia (figura 2). Esta escolha deve-se ao âmbito do estudo, não só da vulnerabilidade mas também da evacuação, o que implica a acção sobre uma área afectada pelo perigo de tsunami assim como o conhecimento das outras áreas adjacentes que sejam seguras e apropriadas (ou não) para a evacuação.



Figura 2 - Mapa de enquadramento da área de estudo. (Framework map of the study area)

Os dados relativos às áreas afectadas por tsunami foram fornecidos sob a forma de grelhas de simulação de inundação por tsunami facultadas pelo Instituto Dom Luiz (IDL-UL). Estas grelhas foram geradas utilizando o modelo COMCOT-Lx (Cornell Multigrid Coupled Tsunami Model) (Omira et al., 2011) que inclui a resolução das equações da hidrodinâmica nomeadamente a NLSW (*Non Linear Shallow Water*) e os cálculos do *run-up* (despraiamento), do *run-in* (máxima distância de inundação), da área inundada e da velocidades do fluxo em terra. Estas simulações necessitaram de DTM's (Modelos Digitais de Terreno) topobatimétricos de alta resolução (10m) mas as grelhas resultantes foram sujeitas a uma generalização para uma resolução de 50m. O pré-processamento aplicado a estas grelhas que abrangem toda a região do Algarve consistiu na atribuição do sistema de coordenadas definido para todo o projecto (ETRS – 1989 TM06-Portugal) e pela aplicação de uma máscara correspondente ao limite administrativo do concelho de Lagos.

Toda esta informação foi agregada numa nova base de dados geográfica na qual as subsecções estatísticas da área de estudo (da base cartográfica da CAOP) acabaram por ser “povoadas” pelos atributos seleccionados das tabelas dos Censos 2011 e pelos valores de altura de onda das grelhas de simulação de inundação por tsunami. Os dados dos Censos 2011 foram agregados à CAOP pelo código da Base Geográfica de Referência de Informação (BGRI) do INE, comum às duas bases de dados. Os atributos dos

Censos contabilizam o número de edifícios de cada subsecção estatística. Para que estes fossem classificados segundo os parâmetros necessários para a estimação da vulnerabilidade (material de construção, época de construção e número de pisos) foram calculadas as percentagens de cada atributo relativamente ao total de edifícios da subsecção. A atribuição de determinada classe a cada área estatística obedeceu ao critério maioritário (percentagem superior a 55%) contudo, nem todas as subsecções respeitaram esta condição em relação a um ou mais parâmetros de classificação sendo então definidas como heterogéneas (cerca de 22%). Estas áreas heterogéneas foram posteriormente “homogenizadas”, uma a uma, reduzindo primeiro o critério maioritário para >50% e, no caso de permanecerem heterogéneas, considerando o atributo predominante de cada parâmetro e a classificação das áreas da vizinhança.

Para se integrar os valores de inundação na base de dados, desencadeou-se um processo de extracção e junção dos valores dos *pixels* das grelhas (em ambiente SIG) pela média em cada subsecção estatística da área de estudo. A resolução espacial das grelhas de inundação foi convertida para 10m para que todas as subsecções estatísticas interceptassem pelo menos um ponto central de um *pixel* das grelhas. O método de interpolação seleccionado foi o Kriging Ordinário, por apresentar o RMS (erro médio quadrático) mais baixo após terem sido testados vários métodos.

Das folhas da carta topo-cartográfica correspondentes à área de estudo foram extraídos os polígonos correspondentes aos edifícios e as linhas da rede de estradas necessárias para a modelação da evacuação.

## 3. METODOLOGIA

### 3.1 VULNERABILIDADE DO EDIFICADO

A estimação de um índice de vulnerabilidade referente ao edificado (parque habitacional) teve por base a adaptação da metodologia RISK-UE adoptada em Barreira et al. (2010) para a vulnerabilidade sísmica das estruturas, combinada com a metodologia BTV (*building tsunami vulnerability*) Batista et al. (2006) que já introduz na estimação dados de modelos de inundação. Esta metodologia desenvolveu-se em quatro etapas, a primeira de classificação tipológica do edificado, a segunda de caracterização das classes tipológicas segundo um índice de vulnerabilidade estrutural, a terceira de integração dos valores de altura de onda das áreas inundadas e por fim a quarta de estimação do índice de vulnerabilidade a tsunami.

Após o pré-processamento dos dados dos censos descritos no ponto anterior, nomeadamente a homogenização das subsecções estatísticas, procedeu-se à sua efectiva classificação segundo os três parâmetros mencionados. O parâmetro “material de construção” foi dividido em três classes maioritárias, alvenaria com placa, alvenaria sem placa e betão. A percentagem de edifícios de taipa/adobe e de outros materiais foi sempre residual ou inexistente em praticamente todas as subsecções e, por essa razão não constituíram classe. A época de construção foi agregada em 5 classes (antes de 1919; 1919-1960; 1961-1985; 1986-2000; 2001-2011). O número de pisos foi classificado segundo os atributos nativos da base de dados dos Censos 2011 sendo estes um ou dois pisos, três ou quatro pisos e cinco ou mais pisos.

Como referido em Barreira et al. (2010) a classificação que melhor se adequa para a aplicação do método RISK-UE baseia-se no par material de construção-idade, enquanto o número de pisos deve ser considerado como factor de agravamento ou desagravamento do índice de vulnerabilidade. Seguindo este pressuposto resultaram 10 classes tipológicas, divididas em alvenaria (agregaram-se as classes de alvenaria com e sem placa, por estas últimas serem maioritárias em pequenas subsecções adjacentes às com placa) e betão para cada uma das classes de época de construção. Obteve-se assim a distribuição espacial para a área de estudo da classificação tipológica final.

A escala EMS-98 (Grünthal, 1998) descreve linguisticamente os diferentes graus de pertença de determinada tipologia em relação a uma classe de vulnerabilidade (tabela 1): Classe mais provável; Classe eventual; Classe improvável. Para a interpretação quantitativa destes termos linguisticos em Giovinazzi and Lagomarsino (2004) é aplicada a teoria dos conjuntos difusos (Fuzzy Set Theory) que discrimina esses limiares de vulnerabilidade de cada tipologia (tabela 2).

**Tabela 1 - Correlação entre classes de vulnerabilidade e tipologia segundo EMS-98**

Typologies	Building type	Vulnerability Classes					
		A	B	C	D	E	F
Masonry	M1 Rubble stone						
	M2 Adobe (earth bricks)						
	M3 Simple stone						
	M4 Massive stone						
	M5 Unreinforced M (old bricks)						
	M6 Unreinforced M with r.c. floors						
	M7 Reinforced or confined masonry						
Reinforced Concrete	RC1 Frame in r.c. (without E.R.D.)						
	RC2 Frame in r.c. (moderate E.R.D.)						
	RC3 Frame in r.c. (high E.R.D.)						
	RC4 Shear walls (without E.R.D.)						
	RC5 Shear walls (moderate E.R.D.)						
	RC6 Shear walls (high E.R.D.)						
Steel	S Steel structures						
Timber	T Timber structures						

Situations: ■ Most probable class; ■ Possible class; ■ Unlikely class (exceptional cases)

**Tabela 2 – Limiares numéricos do índice de vulnerabilidade de cada classe EMS-98**

Typologies	Building type	vulnerability Classes				
		$V_{1min}$	$V_1^*$	$V_1^{**}$	$V_1^{***}$	$V_{1max}$
Masonry	M1 Rubble stone	0.62	0.81	0.873	0.98	1.02
	M2 Adobe (earth bricks)	0.62	0.687	0.84	0.98	1.02
	M3 Simple stone	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M4 Massive stone	0.3	0.49	0.616	0.793	0.86
	M5 Unreinforced M (old bricks)	0.46	0.65	0.74	0.83	1.02
	M6 Unreinforced M with r.c. floors	0.3	0.49	0.616	0.79	0.86
	M7 Reinforced or confined masonry	0.14	0.33	0.451	0.633	0.7
Reinforced Concrete	RC1 Frame in r.c. (without E.R.D.)	0.3	0.49	0.644	0.8	1.02
	RC2 Frame in r.c. (moderate E.R.D.)	0.14	0.33	0.484	0.64	0.86
	RC3 Frame in r.c. (high E.R.D.)	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
	RC4 Shear walls (without E.R.D.)	0.3	0.367	0.544	0.67	0.86
	RC5 Shear walls (moderate E.R.D.)	0.14	0.21	0.384	0.51	0.7
	RC6 Shear walls (high E.R.D.)	-0.02	0.047	0.224	0.35	0.54
Steel	S Steel structures	-0.02	0.17	0.324	0.48	0.7
Timber	T Timber structures	0.14	0.207	0.447	0.64	0.86

O índice de vulnerabilidade  $\bar{V}_1$  é então dado pela expressão:

$$\bar{V}_1 = V_1^* + \Delta V_R + \Delta V_m \quad (1)$$

Onde  $V_1^*$  é o valor médio do índice tipológico de vulnerabilidade;  $\Delta V_R$  é o factor regional de vulnerabilidade (foi considerado 0,08) e  $\Delta V_m$  são o conjunto de factores de agravamento e desagravamento.

Como não foi realizado um levantamento de campo das características dos edificios para poder identificar em concreto as classes EMS-98 presentes na área de estudo, utilizaram-se para o efeito os valores médios do índice das classes (par materialidade) calculados para Lisboa (Omira, 2010). Nesse estudo existiram apenas 8 classes, pelo que nem todas as classes tipológicas estabelecem correspondência directa, tendo-se aplicado nesses casos específicos (Alvenaria85-00, Alvenaria01-11, Betão<1919, Betão85-00 e Betão01-11) um factor de desagravamento referente ao estado de conservação de -0,04 em relação à classe anterior (excepto para a classe Betão<1919 à qual foi aplicado um factor de agravamento de 0,04).

As classes de número de pisos, como já referido, constituíram também um factor de modificação de comportamento (agravamento/desagravamento) aos quais foram atribuídos os valores expressos da tabela 3.

**Tabela 3 - Factor de modificação de comportamento (agravamento/desagravamento) para classes de número de pisos.**

	Alvenaria	Betão
1 ou 2 pisos	-0,04	-0,02
3 ou 4 Pisos	0	0
5 ou mais Pisos	0,04	0,02

Foram então utilizados os seguintes valores de índice de vulnerabilidade médio para calcular  $\bar{V}_1$  de cada classe tipológica (tabela 4).

**Tabela 4 - Valores médios dos índices de vulnerabilidade para as tipologias de Alvenaria e Betão (adaptado de Barreira et al., 2010)**

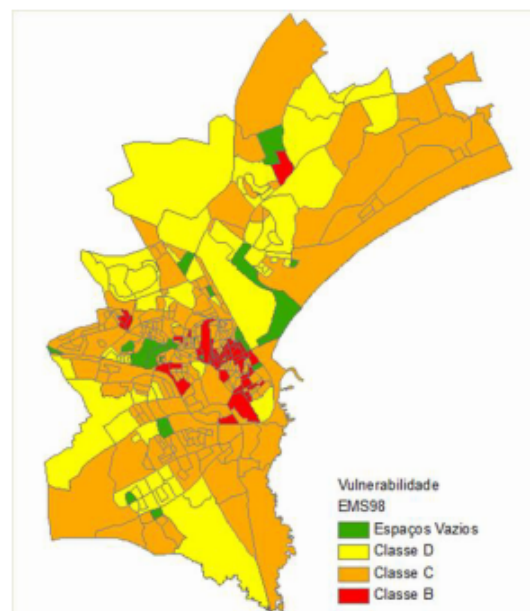
Classe Tipológica	Mínimo	Médio	Máximo
Alv<1919	0.531	0.773	1.016
Alv19 60	0.491	0.745	1.056
Alv61 85	0.491	0.700	0.956
Alv85 00	0.447	0.630	0.832
Alv01 11	-	0.616	-
Bet<1919	-	0.685	-
Bet19 60	0.522	0.681	0.742
Bet61 85	0.482	0.644	0.752
Bet85 00	0.458	0.551	0.658
Bet01 11	0.426	0.529	0.722

Após o calculo de  $\bar{V}_1$  fez-se corresponder o resultado de cada subsecção estatística uma classe de vulnerabilidade EMS-98 segundo os seguintes limiares tabulados em Giovinazzi and Lagomarsino (2004) (tabela 5). O dano esperado não foi estimado nesta fase do trabalho pois será posteriormente associado ao índice de vulnerabilidade a tsunami do edificado que envolve já cenários de inundação.

**Tabela 5 – Valores para o índice de vulnerabilidade para a classes de vulnerabilidade. (Fonte: Giovinazzi and Lagomarsino 2004)**

	$V_{1min}^c$	$V_1^{c*}$	$V_1^{c**}$	$V_1^{c***}$	$V_{1max}^c$
A	1.02	0.94	0.9	0.86	0.78
B	0.86	0.78	0.74	0.7	0.62
C	0.7	0.62	0.58	0.54	0.46

	$V_{1min}^c$	$V_1^{c*}$	$V_1^{c**}$	$V_1^{c***}$	$V_{1max}^c$
D	0.54	0.46	0.42	0.38	0.3
E	0.38	0.3	0.26	0.22	0.14
F	0.22	0.14	0.1	0.06	-1.02



**Figura 3 – Mapa de classificação da vulnerabilidade estrutural do edificado (Structural vulnerability of the buildings classification map)**

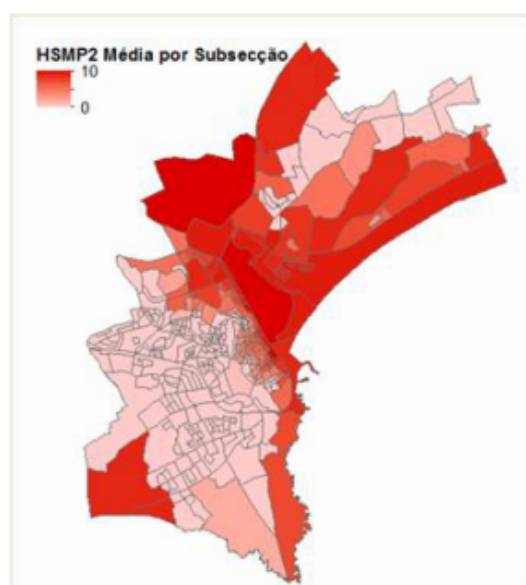
Das regiões tsunamigénicas já anteriormente referidas foram seleccionadas três como sendo suficientemente próximas e potencialmente geradoras de perigo de tsunامي. Segundo o estudo de Omira et al (2009) é claramente demonstrado que a Zona Ferradura – Marquês de Pombal (HSMP), a Zona do Banco de Portimão (PBF) e a Zona do Prisma Acrecionário do Golfo de Cadiz (CWF) são as regiões com características mais favoráveis à geração de tsunamis de impacto significativo em Lagos.



A zona HSMP é considerada uma fonte compósita das duas falhas por estas terem uma continuidade geométrica e segundo Ribeiro et al. (2006), é a proposta melhor aceite como sendo a fonte geradora do evento de 1755 e que, nas mesmas condições, pode ser encarado como o pior cenário tendo, segundo Rio et al. (2003), um período de retorno de pouco mais de 1200 anos. As duas outras fontes são interessantes para este trabalho tendo em conta a proximidade e consequente reduzido tempo de viagem da primeira onda. A zona CWF foi também escolhida por fornecer um cenário de menor risco. Foram então considerados os cenários extremos para cada uma dessas zonas especificados na tabela 6.

**Tabela 6 - Parâmetros de falha dos cenários tsunamigénicos. L: comprimento da falha; W: largura da falha; D: Profundidade do fundo do mar ao topo da falha em quilómetros;  $\mu$ : módulo de cisalhamento; Mw: Magnitude.**

Parâmetros	Falha		
	Ferradura Marquês de Pombal	Banco de Portimão	PAGC
	Cenário		
	HSMP2	PBF2	CWF4
L (Km)	120	115	170
W (Km)	80	60	200
Dip (°)	35	24	5.0
Strike (°)	20.1	266.3	349
Rake(°)	90	90	90
Depth (Km)	5.0	5.0	5.0
$\mu$ (e+10Pa)	4.5	4.5	3.0
Slip (m)	12.0	9.5	16
Mw	8.75	8.25	8.75



**Figura 4 – Cartas de inundações por subsecção estatística para o cenário HSMP2 (Flood map by statistical subsection for HSMP2 scenario)**

Na figura 4 apresenta-se a altura média da onda por subsecção estatística para o cenário HSMP2.

O índice de vulnerabilidade a tsunami do edifício foi gerado pela combinação das classes de vulnerabilidade EMS-98 com os

valores médios de altura de onda por subsecção estatística dos três cenários de inundações por tsunami. A estimativa deste índice foi feita segundo a equação 2 atribuindo-se um factor de peso a cada classe e um factor de classificação e calculando posteriormente uma média ponderada.

$$IVTE(\%) = \frac{(F_{c,e} \times F_{p,e}) + (F_{c,i} \times F_{p,i})}{\sum_{k=1}^2 (F_{c,max} \times F_{p,k})} \times 100 \quad (2)$$

Onde k é o número do critério e  $F_{c,max}$  corresponde ao valor máximo do factor de classificação.

A vulnerabilidade estrutural do edifício já anteriormente classificada de acordo com a Escala Macrosísmica Europeia, distingue 3 classes (figura 3): Classe B (vulnerabilidade alta); Classe C (vulnerabilidade média); Classe D (vulnerabilidade média-baixa). A cada uma destas classes foi atribuído um factor de classificação ( $F_{c,e}$ ) consoante o grau de vulnerabilidade (B-3, C-2, D-1) e um factor de peso ( $F_{p,e}$ ) para todo o critério de 2. O segundo critério considerado na vulnerabilidade a tsunami foram as áreas inundadas classificadas a partir dos valores de altura de onda em 4 classes para cada cenário (tabela 7). O factor de peso atribuído ao critério inundações ( $F_{p,i}$ ) foi 1. Pode-se justificar a atribuição de um peso menor que o atribuído à condição do edifício, por este ter maior influência que a altura da onda, que se relaciona mais com a localização, neste caso da subsecção estatística.

**Tabela 7 – Factor de classificação da altura média da onda para os três cenários de inundações.**

Cenário de inundações	Altura média da onda (m)	Factor de classificação ( $F_{c,i}$ )
HSMP2	0-3	1
	3-6	2
	6-9	3
	9-11	4
PBF2	0-3	1
	3-6	2
	6-9	3
	9-10	4
CWF4	0-2	1
	2-4	2
	4-6	3
	6-8	4

Os valores de percentagem do IVTE calculados pela Eq.2 são associados a um grau de dano esperado para os edifícios da subsecção. Foram consideradas então cinco categorias de nível de dano variando de D0 (sem dano) a D4 (colapso provável). Cada categoria de dano é definida consoante um intervalo da vulnerabilidade estimada para dar uma ideia mais clara no que diz respeito aos limites de resistência estrutural dos edifícios contra inundações por tsunami (tabela 8).

**Tabela 8 - Classificação dos graus de dano.**

Categoria de dano esperado	IVTE	Designação
<b>D0</b>	0-20%	Sem danos
<b>D1</b>	20-40%	Danos leves
<b>D2</b>	40-60%	Danos moderados
<b>D3</b>	60-80%	Danos severos
<b>D4</b>	80-100%	Colapso provável

### 3.2 – ROTAS DE EVACUAÇÃO

Os mapas de rotas de evacuação por tsunami não são impressos nem elaborados como mapas compostos, mas são criados mapas dinâmicos *ad hoc* para apoiar a tomada de decisão durante as operações de evacuação (Scheer et al., 2011). Por esta razão os dados necessários para a elaboração de um plano de evacuação



deve permitir uma análise tanto flexível quanto possível para que se possa adaptar a diferentes cenários de desastre.

Neste trabalho a evacuação por tsunami foi encarada como um problema assente na teoria de grafos, onde se procura maximizar o fluxo de pessoas que se deslocam numa rede, enquanto se tenta minimizar os custos dessa mesma deslocação.

A modelação das rotas de evacuação implicou portanto a utilização da extensão *Network Analyst* do ArcGIS (ESRI) para a criação de uma rede de estradas, a definição dos atributos da rede (custos, descritores e restrições), a identificação dos pontos de origem ou partida (localizados nas áreas inundadas) e dos pontos de destino (localizados em áreas seguras) e, por fim, a aplicação do algoritmo CASPER de optimização de rotas para diferentes cenários de evacuação.

A extensão *Network Analyst* está vocacionada para análise de redes de transport. Neste caso pretende-se simular circulação pedonal, excluindo-se a utilização de automóveis ou de outros veículos (são desaconselhados para a evacuação, não só por obstruírem a via mas, principalmente por representarem uma ameaça à integridade física dos pedestres). Para adaptar a rede a este tipo de mobilidade foi necessário desprezar atributos da rede como o *Oneway* (sentido único) e *Turns* (curvas e mudanças de direcção), para conferir o grau de liberdade de deslocação pretendido.

Como atributos de custo ou impedância da rede (informação que se obtém como *output* de cada rota depois de calculada) foram acrescentados o tempo que se demora a percorrer cada elemento da rede em minutos e a distância em metros. O atributo de distância é portanto associado ao comprimento de cada segmento (*shape\_lenght* de cada *edge*) do tema original das estradas (rede viária). O custo de tempo de viagem em minutos requer o conhecimento da velocidade de deslocação da população a ser evacuada. Para a determinação deste valor, interessou por outro lado, distinguir o tipo de vias, por se tratar de um factor que pode condicionar a velocidade a que uma pessoa se desloca. Na rede viária da área de estudo encontram-se dois tipos de vias diferentes, *road* e *steps*. Assumiu-se como velocidade média de deslocação de um ser humano 1,04 m/s em estrada normal e no caso das escadas, devido à difícil mobilidade, este valor foi reduzido para 0,5 m/s (Scheer et al. 2011).

O cálculo do tempo de deslocação foi integrado em dois novos campos da tabela de atributos, *FT\_Minutos* e *TF\_Minutos* referentes ao sentido da deslocação (*FT* – direcção da digitalização, *TF* – direcção oposta da digitalização), segundo a fórmula:

$$\text{Tempo\_minutos} = (\text{shape\_length}/\text{speed})/60 \quad (3)$$

Devido ao problema de engarrafamento das vias numa situação de evacuação, é necessário introduzir no modelo um atributo que permita simular a capacidade de fluência/escoamento da rede com o objectivo de optimizar as rotas tendo em conta o fluxo máximo de pessoas por via. Foi então adicionado um atributo descritor da capacidade da estrada, adaptando-se o atributo preexistente LANES (número de faixas de rodagem) ao número de pessoas que poderão circular em simultâneo por faixa.

O limite mínimo da largura das faixas de rodagem definido no capítulo de Infra-estruturas rodoviárias e estacionamento do PDML é de 6m. Assumindo-se que os passeios, bermas e valetas podem estar obstruídos por canteiros, mobiliário urbano, sinais de trânsito ou veículos estacionados, e considerando que o termo LANES refere-se ao número de vias de trânsito por faixa, optou-se por atribuir o valor de 3m a cada via. O atributo Capacidade acabou por ser igual ao número do atributo LANES multiplicado por 4 (referente ao número de pessoas).

Os atributos do tipo restrição servem para limitar ou excluir alguns elementos da rede aquando da análise. Neste caso específico consideraram-se como restrições as estradas que poderão ficar bloqueadas pelo colapso de edifícios. Estas barreiras foram digitalizadas sob o formato de pontos sobre o layer das estradas, nas vias que se encontram entre dois edifícios classificados como

D4 (IVTE 80-100%) em termos de categoria de dano esperado em cada um dos cenários de inundação (Figura 5).

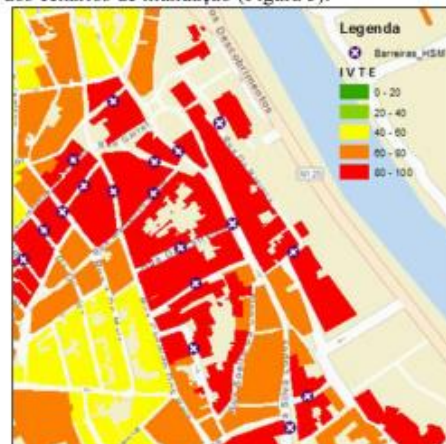


Figura 5 – Exemplo de localização de barreiras cenário HSMP (Barriers location example for HSMP scenario)

As zonas a evacuar foram aqui denominadas de áreas críticas e são compostas pelas subsecções estatísticas sistematicamente inundadas nos três cenários de inundação analisados. Foram geradas a partir da junção dos mapas de altura média de onda dos três cenários, correspondendo às subsecções com valor maior que zero. As áreas consideradas como seguras foram todas as subsecções com valor igual a zero.

De modo a que seja possível gerar rotas de evacuação são necessários dois conjuntos de pontos, os pontos de origem e os pontos de destino. Como pontos de origem consideraram-se os centroides das subsecções definidas como áreas críticas. Um aspecto importante na extracção dos pontos, foi a conservação dos atributos das subsecções, nomeadamente os referentes à população. Estes dados, servirão posteriormente para a simulação de rotas em situações temporalmente distintas com flutuações demográficas (dia-noite, época alta-época baixa). Por esta razão, os pontos de origem não foram extraídos da localização exacta dos edifícios.



Figura 6 - Localização de pontos seguros para evacuação cidade de Lagos. (Safe evacuation points location to the city of Lagos)



Os pontos de destino, de concentração ou encontro de evacuados que também podem ser chamados de abrigos horizontais, devem estar localizados em áreas seguras que não sejam totalmente rodeadas por áreas com risco de inundação.

Outro critério de escolha destes locais foi a relação com a rede de estradas, deve ser acessível, de preferência um ponto de confluência da rede e sem vias obstruídas na sua proximidade. Devem localizar-se junto a locais com baixa densidade de construções nomeadamente parques de estacionamento amplos, descampados ou espaços verdes pouco arborizados.

Procurou-se escolher locais relativamente próximos das áreas inundadas periféricas, para minimizar a distância dos pontos de origem, porque estas apresentam valores médios de altura de inundação apenas na ordem dos centímetros ou mesmo milímetros e também porque apenas num cenário mais extremo seriam efectivamente inundadas.

O cenário DEB foi assumido como o valor de População Presente (PP) da base de dados dos Censos 2011 por estes terem sido levantados durante o mês de Janeiro no período diurno. No que respeita ao cenário NEB considerou-se como população a evacuar o total de População Residente (PR) por subsecção estatística. Os dois cenários de época alta foram estimados de uma forma simplista (dado não se ter em posse a informação da ocupação turística), tendo em conta os resultados apresentados no estudo Modelação da Dinâmica e Mobilidade da População Presente na Região do Algarve, parte integrante do projecto ERSTA desenvolvido pelo CEG/UL em 2008. Neste estudo é apontado para o concelho de Lagos um incremento de cerca 100% da PP em relação à PR na época alta (dia de semana) num cenário maximalista. Adaptou-se portanto um valor de proporção menos optimista de 80% (para não criar assimetrias muito acentuadas entre subsecções) para o cenário DEA.

Segundo o Plano Municipal de Turismo (PEL - Plano Estratégico do Município de Lagos, 2005) a cidade de Lagos dispunha de 4746 camas oferecida pelos estabelecimentos hoteleiros existentes, o que prefaz 24% da PR da área de estudo, caso a taxa de ocupação fosse de 100%. Será falacioso admitir a generalização desta percentagem para todas as subsecções estatísticas (por esta depender fortemente da localização das unidades hoteleiras), mas para efeitos de simulação foi a assumida no cálculo do cenário NEB.

- DEB (Cenário Diurno-Época Baixa) = PP
- NEB (Cenário Nocturno-Época Baixa) = PR
- DEA (Cenário Diurno-Época Alta) = (PR\*0,8)+PP
- NEA (Cenário Nocturno-Época Alta) = (PR\*0,24)+PR

Para além do carregamento dos dados referentes aos evacuados, abrigos e barreiras nos respectivos *layers* do *Network Analyst* (*Zones*, *Evacuees* e *Barriers*), a criação de rotas de evacuação com o ArcCasper necessita a especificação dos atributos de impedância e custo, assim como a definição da *Critical Density per Unit Capacity* (constante que indica a densidade crítica de uma estrada por unidade de capacidade) e da *Saturation Density per Unit Capacity* (constante que indica a densidade de saturação de uma estrada). A densidade crítica refere-se ao número máximo de evacuados a circular sem que a velocidade de escoamento da rota seja afectada e a densidade de saturação representa o limite de evacuados a partir do qual a velocidade de escoamento da rota é reduzida para 0,368 (e-1) da velocidade original.

#### 4. RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos para os índices de vulnerabilidade a tsunami do edificado (IVTE) para os três cenários de inundação (figuras 7, 8 e 9), pode verificar-se que, em qualquer um dos casos, estão expostos ao perigo de uma onda de tsunami mais de 2000 edifícios (cenário HSMP – 2652 edifícios, cenário PBF – 2340 edifícios, cenário CWF – 2295 edifícios) na área de estudo.

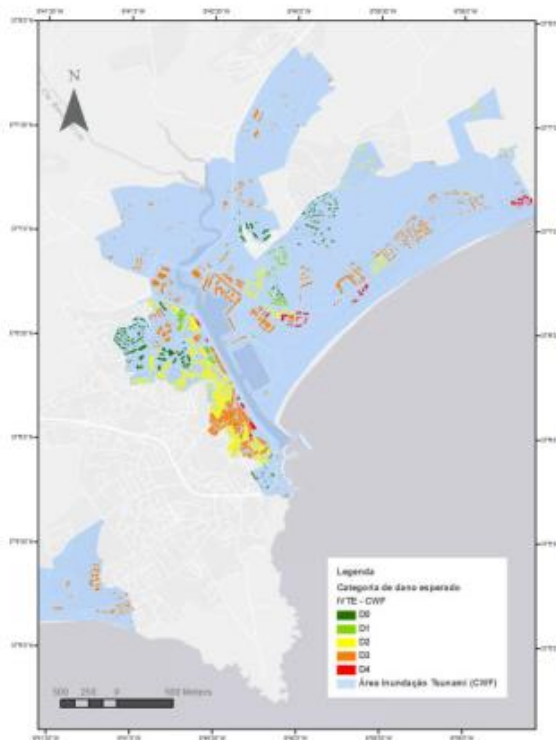


Figura 7 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação CWF. (*Tsunami Building Vulnerability map of Lagos for the CWF flood scenario*)

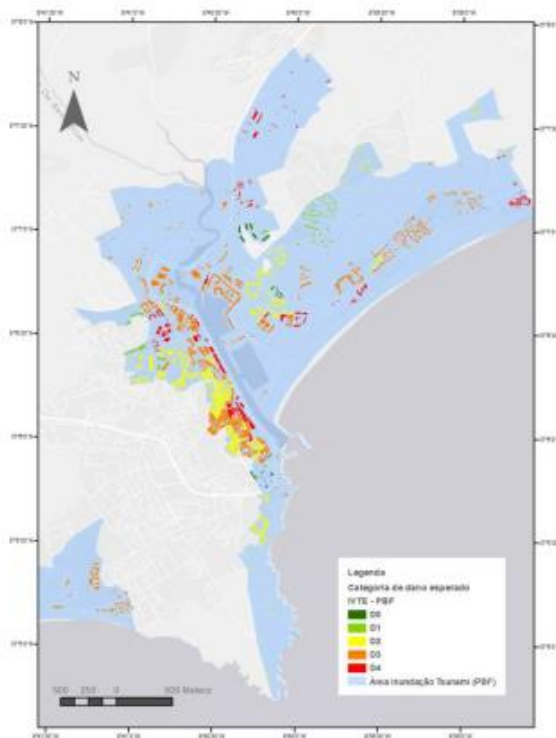
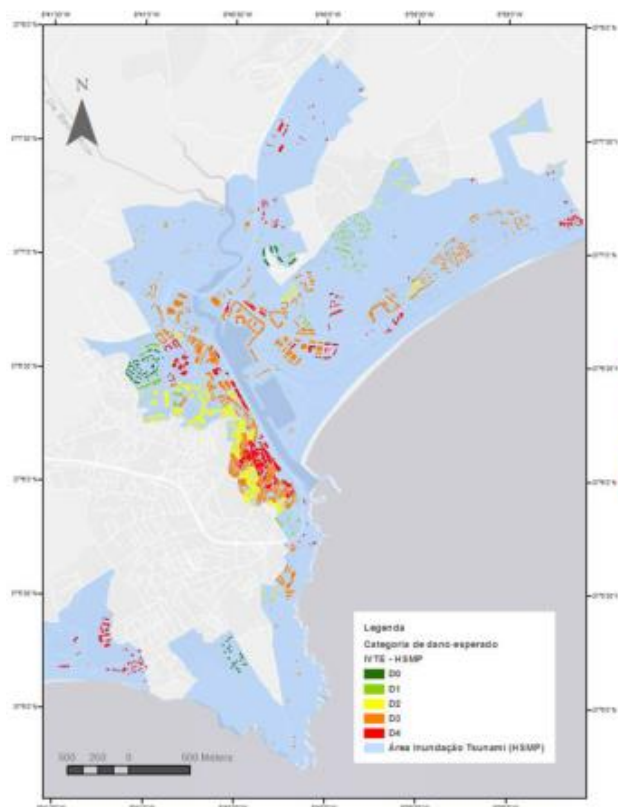


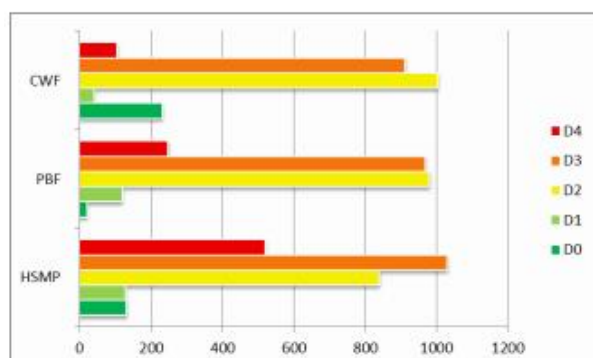
Figura 8 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edificado de Lagos para o cenário de inundação PBF. (*Tsunami Building Vulnerability of Lagos for the PBF flood scenario*)



**Figura 9 – Carta de Vulnerabilidade a Tsunami do Edifício de Lagos para o cenário de inundação HSMP. (Tsunami Building Vulnerability of Lagos for the HSMP flood scenario)**

Conclui-se também que a vulnerabilidade do edifício é significativamente influenciada pela localização (exposição a um maior valor de altura de onda): as áreas costeiras e das margens da Ribeira de Bensafim apresentam um IVTE mais elevado independentemente (ou com menor influência) da vulnerabilidade estrutural. O centro histórico da cidade de Lagos é a área na qual a vulnerabilidade estrutural, por apresentar tipologias construtivas mais “frágeis”, tem maior peso no IVTE estimado que o critério da altura média da onda.

Como pode ser observado na figura 10 que indica o número de edifícios por classe de dano, as classes de dano D2 (dano moderado) e D3 (dano severo) são predominantes nos três cenários (entre 70 e 83% dos edifícios). No caso do cenário HSMP ocorre uma transferência mais acentuada de edifícios classificados com danos D2 para as classes D3 e D4 (cerca de metade do total de edifícios).



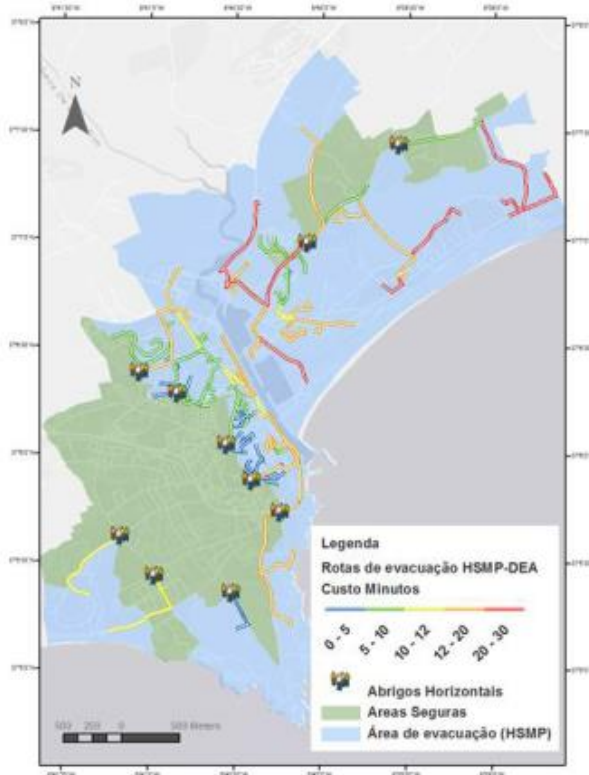
**Figura 10 – Número de edifícios por categoria de dano para os três cenários de inundação.**

Com base nestas classificações pode também aferir-se a população que é directamente afectada em cada um dos cenários em função das condições de habitabilidade do edifício. A tabela 9 relaciona o número de habitantes (População Residente por subsecção estatística) por cada classe de dano e estima o número de desalojados tendo em conta que os edifícios classificados com D3 e D4 não apresentarão condições mínimas de habitabilidade após a inundação.

**Tabela 9 – População afectada - Número de habitantes (PR) por categoria de dano esperado nos três cenários de inundação.**

	HSMP	PBF	CWF
D0	375	18	798
D1	283	279	94
D2	2319	2639	2796
D3	2155	1860	1514
D4	1192	905	294
Total	6324	5705	5496
Desalojados	3347	2765	1808

Em caso de tsunami não se consegue relacionar directamente o número de feridos ou mortos com o dano nos edifícios como em caso de sismo. Isto porque se parte do princípio de que é possível evacuar uma parte significativa da população antes da ocorrência do evento. As rotas de evacuação geradas na simulação foram classificadas consoante o tempo do percurso, o que permite a identificação dos percursos inviáveis que excedam o Tempo de Evacuação (TE).



**Figura 10 – Carta de Rotas de evacuação para o cenário diurno em época alta e de inundação HSMP. (Evacuation routes for daytime scenario in the high season and HSMP flood)**

O Tempo necessário para a Evacuação é o período de tempo disponível entre a emissão do alerta de tsunami e a chegada da



primeira onda. Post et al. (2009) referem que existem quatro componentes do tempo de evacuação que consistem no tempo de decisão (tempo que decorre entre a detecção oficial do evento e a decisão de soar o alarme), no tempo de notificação, no tempo de reacção ou preparação da população (TR) e no Tempo esperado de Chegada de ondas de Tsunami (TCT).

Os tempos de decisão e notificação foram agregados como Tempo de Aviso (TA) e assumiu-se como tempo médio por defeito 8 minutos (Dewi 2012). A resposta de uma pessoa requer o conhecimento dos sinais de aviso de tsunami (sismo, descida do nível do mar ou os avisos emitidos institucionalmente) e do conhecimento da comunidade de como proceder em caso de evacuação por tsunami. Trata-se de um tempo variável de pessoa para pessoa e foi assumido como tempo médio de reacção 10 minutos. O Tempo esperado de Chegada de ondas de Tsunami foi adoptado de Omira et al. (2009) onde é estimado o Tsunami Travel Time (TTT) mínimo correspondente aos vários cenários MCE (*Maximum Credible Earthquake*) de inundação. Para o caso da costa de Lagos o TTT mínimo está entre os 25 e os 30 minutos.

O tempo de evacuação foi calculado a partir da seguinte fórmula adaptada de Post et al. (2009):

$$TE = TCT - TA - TR \quad (4)$$

TE = Tempo necessário para a evacuação (12 minutos)

TCT = Tempo esperado de Chegada de Ondas de Tsunami (30 minutos)

TA = Tempo do Aviso (decisão institucional e notificação) (8 minutos)

TR = Tempo de Resposta da População (10 minutos)

A estimacão do TE foi imprescindível para a avaliação da necessidade ou não de serem implementados abrigos verticais no modelo de evacuação. Todas as rotas de evacuação que apresentem um tempo de percurso superior ao TE (12 minutos), ou seja que não permitam a evacuação segura em tempo útil, devem estar servidas por abrigos verticais.

Na tabela 10 estão contabilizados o número de evacuados das rotas de evacuação que excedem os 12 minutos e que portanto devem ser direccionados para abrigos verticais em cada cenário de evacuação analisado.

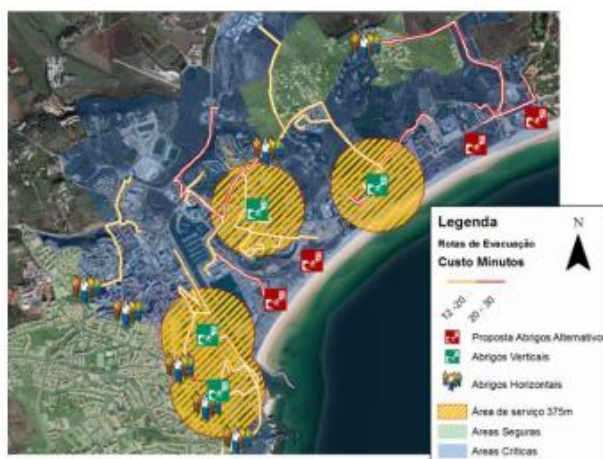
**Tabela 11 – Número de evacuados a ser direccionado para abrigos verticais por cenário de evacuação (Diferença entre população considerada por cenário e número de evacuados da simulação ArcCasper).**

Cenários	DEA	DEB	NEA	NEB
HSMF	1755	1085	1366	973
PBF	1667	1040	1297	924
CWF	1643	1016	1279	911

Os abrigos verticais devem ser estruturas em betão armado ou metálicas colectivas, com função residencial, escritórios ou parques de estacionamento elevados (Scheer et al. 2011), localizados nas áreas críticas. Devem ter um número de pisos superior à altura máxima da inundação (neste caso pode admitir-se 3 ou mais pisos) e deve ser um edifício classificado como D2 ou D3 do índice de vulnerabilidade tsunami. Os edifícios seleccionados devem também ser capazes de suportar danos provocados por detritos flutuantes de grandes dimensões, transportados pela onda no primeiro impacto ou durante o recuo das águas. Nos casos em que a selecção não apresente resultados junto aos percursos de rota com mais de 12 minutos deve ser sugerida uma nova localização para a construção de abrigos artificiais.

Partindo do cenário de evacuação mais extremo (maior área inundada e maior número de população a evacuar), o HSMF-DEA, geraram-se áreas de serviço para os 4 possíveis abrigos verticais num raio de 375 metros (distância percorrida em 12 minutos à

velocidade de 1,04m/s). Estas áreas demonstram que mesmo assim alguns pontos críticos (origem das rotas nas subsecções estatísticas) continuam sem rotas de evacuação viáveis. Sendo assim são propostas na figura 11 quatro localizações para a construção de abrigos verticais artificiais ao longo da estrada Nacional M534 adjacentes à Meia Praia.



**Figura 11 – Carta de abrigos e rotas de evacuação inviáveis. (Map of shelters and unviable evacuation routes)**

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos conseguidos com a informação disponíveis mostraram-se relativamente satisfatórios, o que não invalida que no futuro sejam adoptadas metodologias mais minuciosas, exaustivas e rigorosas, integrando mais e melhores dados de diversas naturezas, necessários neste tipo de estudo, como por exemplo os levantamentos de campo.

Na metodologia adoptada neste trabalho não foram integrados outros factores importantes como por exemplo a vulnerabilidade económica que possibilitaria calcular o risco tendo em conta a as perdas económicas, ou a vulnerabilidade de infraestruturas críticas, que poderiam fornecer informação pertinente principalmente para as operações de recuperação do desastre.

Apesar disso, o contributo científico tanto das cartas de vulnerabilidade como das simulações realizadas para 12 cenários poderá ser útil às autoridades competentes responsáveis pelo planeamento e socorro.

Ainda no âmbito do projecto VULRESADA, esta metodologia poderá também vir a ser adaptada ao caso de estudo da cidade de Cascais, Portugal.

## 6. AGRADECIMENTOS

Este estudo foi desenvolvido no âmbito do projecto VULRESADA, coordenado e financiado pelo Centro Europeu de Riscos Urbanos (CERU). Um especial agradecimento à Câmara Municipal de Lagos (CML), à Associação de Municípios do Algarve (AMAL) e ao Instituto Dom Luiz (IDL-UL) pelos dados disponibilizados.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baptista, M.A. (1998): "Génese, propagação e impacto de tsunamis na costa portuguesa", *Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa*, pp 202.
- Baptista M.A., Miranda J.M., Luis J.F. (2006): "In Search of the 31th March 1761 Earthquake and Tsunami Source", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96, 2, pp 713-721.
- Baptista, M.A.; Miranda, J.M., (2009), Revision of the Portuguese catalog of tsunamis, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, pp. 1-18, [www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/25/2009/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/9/25/2009/)
- Barreira, E.; Teves-Costa, P.; Omira, R.; (2010): "Vulnerabilidade Sísmica do Parque Habitacional da Cidade de Lisboa", *Sísmica 2010 - 8ª*

*Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, Programa QREN\_PORL*, pp 1-11.

- Costa, E.; Vicêncio, H.; Pires, P., (2012): "Estudo do Risco Sísmico e de Tsunamis do Algarve (ERST), Faro", *RISCOS – Associação Portuguesa de Riscos, Prevenção e Segurança, Artigo da Revista Territorium*, nº 19, 2012, pp. 51-54.
- Dewi, S., (2012): " A-Gis Based Approach of an Evacuation Model for Tsunami Risk Reduction ". *Journal of Integrated Disaster Risk Management* 2, 23, pp. 2185-8322.
- Giovinazzi, S. and Lagomarsino, S., (2004): " A Macroseismic Method For The Vulnerability Assessment Of Buildings ". 13th *World Conference on Earthquake Engineering*, Canada.
- Gaspar, J.; Rodriguez, J.F.; Queiróz, M.; Henriques, E.B.; Palma, P.; Vaz, T.; (2008): "Determinação das Vulnerabilidades Humanas em Situação de Risco Sísmico e Tsunamis. O Caso do Algarve", *ANPC e Faculdade de Letras/Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Inforgeo*, 2007/2008, pp. 51-66.
- Grünthal, G., (1998): "European macroseismic scale 1998" *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie* 15. Luxembourg pp. 99
- Omira, R.; Baptista, M.A.; Mellas, S.; Leone, F.; Richemond, N.M.; Zourarah, B.; Cherel, J.P., (2012): "The November, 1st, 1755 Tsunami in Morocco: Can Numerical Modeling Clarify the Uncertainties of Historical Reports?", *Chapter XX*, pp 1-16
- Omira, R.; Baptista, M.A.; Miranda, J.M.; Toto, E.; Catalão, J.; (2009): "Tsunami vulnerability, assessment of Casablanca-Morocco using numerical modelling and GIS tools", *Nat Hazards, Casablanca*, 24 september 2009.
- Omira, R., Baptista, M.A., Matias, L., Miranda, J.M., Catita, C., Carrilho, F., Toto, E., (2009): Design of a Sea-level Tsunami Detection Network for the Gulf of Cadiz, *Nat Hazards Earth Syst. Sci.*, 9, 1327–1338.
- Post, J., et al. (2009). "Assessment of Human Immediate Response Capability Related to Tsunami threats in Indonesia at a Sub-national Scale." *Natural Hazards Earth System Sciences*, 9, 1075-1086.
- Ribeiro, M.J.M., (2006), *Gestão do Risco Sísmico, Análise de Risco Sísmico e Gestão de Emergência*, Lisboa, Câmara Municipal de Lisboa.
- Rio, I., P.T. Costa, J. Almeida e L.A.M. Victor (2003): "Risco Sísmico na Cidade de Lagos". *ICTE*, Lisboa.
- Scheer, S.; Gardi, A.; Guillande, R.; Eftichidis, G.; Varela, V.; Vanssay, B.; Colbeau-Justin, L.; (2011): "Manual de Planificação de Evacuação por Tsunami, SCHEMA – Scenarios for Hazard-induced Emergencies Management (Cenários de Risco para Gestão de Emergências)" *Projecto nº 030963, Gabinete de Publicações da União Europeia*, Annalisa Gardi, Geosciences Consultants, Paris, pp. 1-54